

HANDBUCH

DER

BOTANIK.

BEARBEITET UND HERAUSGEGEBEN

VON

DR. N. J. C. MÜLLER,

PROFESSOR DER BOTANIK AN DER KÖNIGL. FORSTAKADEMIE ZU HANN. MÜNDEN.

ERSTER BAND:

ALLGEMEINE BOTANIK.

ERSTER THEIL.

MIT 480 ABBILDUNGEN IN HOLZSCHNITT.

HEIDELBERG.

CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.

1880.

HANDBUCH

DER

ALLGEMEINEN BOTANIK

VON

DR. N. J. C. MÜLLER,

PROFESSOR DER BOTANIK AN DER KÖNIGL. FORSTAKADEMIE ZU HANN. MÜNDEN.

ERSTER THEIL:

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE DER GEWÄCHSE.

MIT 480 ABBILDUNGEN IN HOLZSCHNITT.

HEIDELBERG.

CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.

1880.

SEINER EXCELLENZ,

DEM WIRKLICHEN GEHEIMEN RATH,

OBERLANDFORSTMEISTER UND CURATOR DER KÖNIGL. PREUSSISCHEN FORSTAKADEMIEEN,

HERRN

O. VON HAGEN

IN EHRERBIETUNG GEWIDMET

VOM VERFASSER.

VORWORT.

Sollen die Hauptgeſichtspunkte heutiger Forſchung und die vorhandenen Reſultate in einem Lehrgebäude vereinigt werden, ſo iſt das erſte Erforderniß, daß der Plan ein einheitlicher ſei. Ob der Ausbau der einzelnen Abſchnitte in gleicher Weiſe vollkommen von einem Botaniker behandelt werden kann, darf bei dem Reichthum der ſpecialiſtiſchen Studien der heutigen Zeit billigerweiſe bezweifelt werden. Die Frage wird nur ſein: iſt es vortheilhafter, wenn Compilatorien, welche dem directen Lehrzweck der Hochſchulen dienen ſollen, durch mehrere Fachleute zu einem einheitlichen Bau zuſammengetragen werden, als wenn ſich ein Einzelner dieſer Aufgabe unterzieht?

Ich habe mich für die letztere Weiſe entſchieden und in dem vorliegenden Bande der Aufgabe, die Hauptzüge der Zellen-Phyſiologie und -Anatomie mit den Lebenserſcheinungen zu vereinigen, gerecht zu werden geſucht.

Zu ganz beſonderem und aufrichtigem Danke für die Unterſtützung bei Ausarbeitung des Werkes bin ich ver-

pflichtet Seiner Excellenz, dem Herrn Geheimen Rath und Curator der kgl. Forſtakademieen von Hagen und den Directoren der kgl. Forſtakademie in Münden, Herrn Geheimen Regierungsrath Dr. Heyer und dem für das forſtliche höhere Unterrichtswefen leider zu frühe verſtorbenen Oberforſtmeiſter Bernhardt.

Die Herren Fachgenoſſen haben mich in der freundlichſten Weiſe mit den oft ſchwer zu erlangenden Abhandlungen aus den Akademieberichten bedacht. Ich ſage allen dieſen Herren aufrichtigſt Dank und insbeſondere den Herren Profeſſor Dr. de Bary in Straßburg, Profeſſor Dr. Pringsheim in Berlin, Profeſſor Dr. Schwendener in Berlin, Profeſſor Dr. von Nägeli in München, Profeſſor Dr. Böhm in Wien, Profeſſor Dr. Wiesner in Wien, Profeſſor Dr. Göppert in Breslau, Profeſſor Dr. A. de Candolle in Genf, Dr. Thilenius in Wiesbaden, Sir Richard Schomburgk, Dr. phil., Director des botaniſchen Gartens in Adelaide.

Münden, im November 1879.

Dr. N. J. C. Müller.

Inhaltsverzeichniss.

Erſter Theil:

Anatomie und Physiologie der Gewächse.

Dritte Abtheilung:
Wachsthumserscheinungen der Membran.

Vierte Abtheilung: Flächenwachsthum der Membranen. Streckung der Pflanzenorgane.

Fünfte Abtheilung: Folgen des Flächenwachsthums.

Sechste Abtheilung:
Ursachen der Richtungs- und Lageänderung.

Siebente Abtheilung: Grobe Anatomie.

Achte Abtheilung: Theorie der Ernährung der Pflanzen.

Neunte Abtheilung: Einwirkung der Wärme.

Zehnte Abtheilung: Rückläufige Zersetzungen, Erkrankung, Gährung, Fäulniss, Verwesung.



Anatomie und Physiologie der Gewächse.

Erſte Abtheilung: Das Protoplasma.

§ 1. Das Leben als eine Bewegungserscheinung aufgefasst.

An der Pflanze kann man einen Theil der Lebenserſcheinungen und der Geſtaltung zurückführen auf die folgenden elementaren Proceſſe:

1^0 Aus dem flüſſigen Zellenleib ſchlagen ſich im Beginn plaſtiſche, ſpäter feſte Membranen nieder, welche das flüſſige Lebeweſen in eine feſte Form einhüllen. Ein einziger ſolcher Raum mag einſtweilen eine Zelle, ein Complex vieler ſolcher mag ein Zellgewebe genannt werden.

2^0 Das flüſſige Lebeweſen nimmt von außen durch Diffuſion gelöſte, feſte und gasförmige Körper auf, vergrößert ſein Volum und gliedert dasſelbe in mehr und mehr von feſten Membranen umhüllte Hohlräume, welch' letztere ſelbſt während dieſes Vorganges an Maſſe zunehmen.

3^0 Während dieſer Vorgänge in 1^0 und 2^0 müſſen ſich chemiſche Proceſſe im Innern des Lebeweſens abſpielen, durch welche die durch Diffuſion eingeführten Körper (Rohnährkörper) umgewandelt werden in verbrennliche Nährkörper (Aſſimilationsproducte). Dieſe ſind zum Theil gelöſt, zum Theil häufen ſie ſich als Niederſchläge an. Die Pflanze aſſimilirt und ſie ſcheidet dabei gasförmigen Sauerſtoff oder ſauerſtoffreiches Gas aus.

4^0 Bei allen Vorgängen des Lebens herrſcht der Proceß der Verbrennung. Ein Theil der verbrennlichen Subſtanz wird als Kohlenſäure ausgeſchieden. Die Pflanze athmet.

5^0 Die feſte Hülle der Zellen iſt eine quellungsfähige Membran, welche ſtetigen Volumſchwankungen unterliegt:

a) indem ſie durch Einlagerung feſter Theile wächſt;

b) indem ſie je nach dem Waſſergehalt der umgebenden Medien quillt oder ſchrumpft;

c) indem ſie quillt oder ſchrumpft in Folge chemiſcher Veränderung des Zellinhaltes.

Die Quellung iſt eine ganz weſentliche und der organiſchen Maſſe allein zukommende Eigenſchaft.

Gewiſſe Bewegungsvorgänge an Pflanzenzellen oder an complexen Geweben von Pflanzenzellen können ſchon aus den vorſtehenden Molecular-

wirkungen erklärt, d. h. auf Folgen äußerer Einflüſſe zurückgeführt werden. Möge *m* Fig. 1 die Dicke der gleichmäßigen elaſtiſchen Membran einer Kugelzelle ſein, welche ebenſo gleichmäßig mit tropfbarem Zellinhalte erfüllt iſt, ſo iſt die erſte Bewegungsurſache alsdann in dem Temperaturwechſel begründet. Die feſte Hülle zieht ſich gleichmäßig in der Richtung des Pfeiles α zuſammen nach *m'*, wenn die Temperatur ſinkt, ſie dehnt ſich gleichmäßig in Richtung des Pfeiles β aus, wenn die Temperatur wächſt. Im erſteren Fall wächſt der Druck, im letzteren ſinkt derſelbe.

Dieſe Schwankung muß auch unabhängig von der Temperatur eintreten, wenn in Folge chemiſcher Vorgänge die Concentration der Löſungen im Innern der Zelle ſich verändert. Denken wir uns zunächſt die Osmoſe ausgeſchloſſen, ſo tritt eine geringe Contraction der Membran ein, wenn die Concentration in der Löſung wächſt, und umgekehrt erfolgt eine geringe Expanſion (Pfeil β *m* nach *m''*), wenn dieſelbe ſinkt.

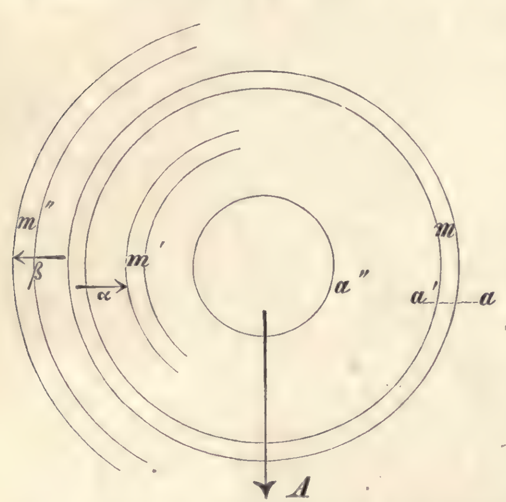


Fig. 1. Kreisfigur für den hydroſtatiſchen Druck und die Spannung in der Zelle.

Druckſchwankungen müſſen endlich ſtetig und in allen Geweben herrſchen, durch den Vorgang des Dickenwachsthums an einer ſelbſt dem Volum nach ausgewachſenen Zelle. In unſerer Fig. 1 möge der äußere Contour in *a* deßwegen conſtante Lage beſitzen, weil das Gebilde nach außen ausgewachſen, oder weil es nach außen von den Nachbarn in demſelben Gewebe eingeſchränkt iſt. Durch Wachsthum möge aber der innere Contour der feſten Membran allmälig nach *a''* gelangen, ſo daß der Ring *a a''* mit feſter Membranſubſtanz ausgefüllt wird. Das Volum des Flüſſigen wird immer kleiner; daher iſt das Dickenwachsthum an ſich eine Urſache der Translocation in Richtung des Pfeiles *A* Fig. 1.

Einen kleinen Theil der organiſchen Bewegungserſcheinungen vermag man ſomit auf mechaniſche Urſachen zurückzuführen, welche entweder in einfachen Bedingungsänderungen der Umgebung, oder in einfachen Änderungen des Organismus während des Lebens begründet ſind.

Man kann ſelbſt einen Theil der hier gedachten Vorgänge durch Experimente nachahmen. Könnte man die Bewegungserſcheinungen an (vor dem Experiment) todten Maſſen ſtetig machen, ſo daß der Verluſt der

Bewegungsurſache (Betriebskraft) von außen ſtetig wieder erſetzt würde, hätte man die in den nachfolgenden Verſuchen vereinzelten Wandlungen in einem Individuum vereinigt, ſo wäre man dem Wesen organiſcher Bewegung um einen kleinen Schritt näher gerückt.

Synthetiſche Verſúche.

Die Maſſen-Zu- und Abnahme, verbunden mit den Phänomenen der Ausdehnung und Verkleinerung des Zellenvolums, alſo Bewegungserſcheinungen allgemeinſter Bedeutung, laſſen ſich leicht und lehrreich demonſtriren, indem man Seifenblaſen mit verſchiedenen Gaſen anfüllt (mit Hilfe des Apparates Fig. 2). Eine mit atmoſphäriſcher Luft angefüllte Seifenblaſe iſt, in der atmoſphäriſchen Luft ſchwebend, eine geraume Zeit ſtabil, in Volum und Maſſe unveränderlich. Eine mit Kohlenſäure gefüllte Blaſe aber ſinkt von dem Moment, wo ſie das größte Volum erreicht hat, allmälig in ſich zuſammen, weil die Theilchen des Zellinhaltes in der Membran von Waſſer leichter löslich ſind, wie die Theile in dem Medium, welches die Zelle umſpült. (Sauerſtoff und Stickſtoff.)



FIG. 2. Wenn man den Behälter *A*, Fig. 2, mit CO_2 füllt und in *b* eine Seifenblaſe mit dieſem Gas füllt, dann den Hahn ſchließt, ſo kann man beobachten, wie die Gasblaſe allmählich zuſammenſinkt, bis ſie verſchwindet. Stellt man aber eine Waſſerſtoffblase her, ſo wächſt dieſe, bis ſie platzt.

Füllt man endlich eine dritte Seifenblaſe mit Waſſerſtoff, ſo erhält man die umgekehrte Bewegung, die Blaſe wächſt und platzt endlich, weil die Theilchen des umgebenden Mediums in der Membran löslicher ſind, wie die Waſſerſtofftheilchen, welche das Zellenvolum ausfüllen [1]).

Stellen wir uns vor, daß in der Luftſeifenblaſe gerade ſo viel Gastheilchen aufgenommen wie abgegeben werden, ſo ſtellt die Waſſerſtoffblaſe eine Zelle dar, welche, indem ſie ſich ernährt, feſte Theilchen aufnimmt oder beſſer geſagt, mehr derſelben aufnimmt, wie ſie abgibt. Die Kohlenſäureblaſe aber ſtellt eine Zelle vor, welche den umgekehrten Proceß ausführt. In beiden Fällen iſt der Proceß auf eine elementare Urſache zurückgeführt, auf die Diffuſion chemiſch verſchiedener gasförmiger Flüſſigkeiten,

---

[1]) Die Abſorptionscoëfficienten für Waſſer und eine mittlere Temperatur ſind für Waſſerſtoff kleiner, für Kohlenſäure größer wie für atmoſphäriſche Luft.

durch eine tropfbar flüſſige, geſpannte Membran. Der chemiſche Unterſchied zwiſchen dem Inhalt der Zelle und dem umgebenden Medium iſt die Urſache der Bewegung.

Die chemiſche Differenz zwiſchen dem Lebeweſen und ſeinem Medium wird verbraucht in dem Maaße, wie die Bewegung vor ſich geht. In einem Falle unſerer Verſuche, in der Waſſerſtoffblaſe nämlich, ſieht man, daß die Membran der Volumzunahme nicht folgen kann, weil ſie ſelbſt nicht ernährt wird, ſie platzt in Folge davon. Könnte auch die geſpannte Membran in dem gleichen Maaße ernährt werden, wie das Volum der Zelle wächſt, ſo wäre ein Gebilde geſchaffen, welches die Vorgänge an der lebenden Pflanze in vollkommener Weiſe nachahmt. Es iſt Traube gelungen, ſolche Zellen herzuſtellen, indem er zwei ſolche lösliche Körper in Löſung zuſammenbrachte, welche einen Niederſchlag bilden. So verhalten ſich z. B. die Löſungen von Leim und Gerbſäure, Eiſenchlorid und Ferrocyankalium, Chlorcalcium und kohlenſaurem Kali (ſ. für letztere die Verſuche von Famintzin weiter unten). Bringt man einen Tropfen Leim [β Leim][1]) *t*, Fig. 3, an einem Glasſtabe in die Löſung des Tannin, ſo überzieht ſich derſelbe mit einer durchſcheinenden, elaſtiſchen Membran von Leimgerbſäure, welche verhindert, daß ſich der von ihr umſchloſſene Inhalt der Zelle mit der Tanninlöſung miſcht. Die Zelle wächſt und bildet gelegentlich Ausſtülpungen, welche in gleicher Weiſe von der äußeren Nährlöſung durch Membranen geſchieden ſind. Das Wachſen iſt eine ſtetige Erſcheinung, die in unſerem Verſuche auf die Anziehung der Leimlöſung zu den Waſſertheilchen der die Zelle umgebenden Nährlöſung zurückgeführt werden muß. Die Membran iſt ſo beſchaffen, daß ſie für beide Membranogene undurchläſſig ist und für die ganze Dauer des Vorganges verbleibt. Möge *a a*, Fig. 4, die Ausdehnung der Zelle für einen gegebenen Zeitpunkt bedeuten, die Figuren Kreis und Kreuz mögen die Molecule der Gerbſäure-Leim-Membran darſtellen, deren Interſtitien ſo eng ſind, daß weder Gerbſäure-Molecule in centrifugaler, noch Leimtheilchen in centripetaler Richtung die Membran paſſiren können, ſo werden die Molecule der Membran dadurch, daß Waſſertheilchen mit dem Pfeile die molecularen Interſtitien paſſiren, in radialer Richtung in die Schale *b b'* gelangen.

---

[1]) Der β Leim entſteht durch anhaltendes Kochen des gewöhnlichen Leims, er hat die Eigenſchaft, zu geliren, verloren und läßt ſich zu einer zerreiblichen Maſſe eindampfen.

Siegfried Reisseck, Ueber künſtliche Zellenbildung in gekochten Kartoffeln. 1851. Sitzungsber. d. K. Acad. Aprilheft 1851. — Prof. Famintzin, Ueber amumylartige Gebilde des kohlenſauren Kalkes (Verhandl. des naturhiſtor.-medicin. Vereins zu Heidelberg). — P. Harting, Recherches de Morpholog. ſynthétique ſur la production artificielle de quelques formations calcaires organiques. Amſterdam. van der Poſt. 1872.

Die Interſtitien erweitern ſich ſo, daß ſoeben die beiden Membranogene die Lücken, welche ſelbſt von unendlich kleiner Ausdehnung gedacht werden müſſen, ausfüllen. Sobald ſie dort zuſammentreffen, ſchließen ſie aber hinwiederum jene Lücken. Die Membran wächſt daher ſtetig, ſo lange noch eine genügende Anzahl waſſeranziehender Theilchen des inneren Membranogenes vorhanden iſt. Sie wächſt durch Einlagerung kleinſter Theilchen zwiſchen



Fig. 3. Apparat zur Herſtellung der Traube'ſchen Zelle.

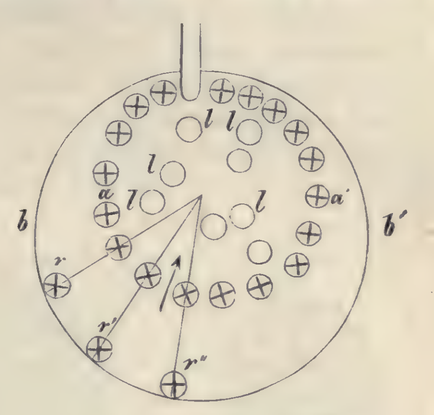


Fig. 4. Schema der Traube'ſchen Zelle.

vorhandene kleinſte Theilchen und dadurch, daß ein Vorrath chemiſcher und osmotiſcher Spannung verbraucht wird. Denn offenbar muß einmal Stillſtand in dieſem Wachsthumsvorgang eintreten, wenn nämlich die Molecule im Innern *l* (ſiehe Fig. 3) verbraucht ſind[1]).

Bezogen auf die Vorgänge in der Seifenblaſe, iſt in der Traube'ſchen Zelle das Wachsthum in vollkommener Weiſe nachgeahmt, weil in ihr das Volum durch Stoffaufnahme wächſt und weil die feſte Hülle (Membran) durch einen chemiſchen Proceß eine Maſſenzunahme erfährt. Könnten beide Vorgänge in einem Experiment ſo realiſirt werden, daß ſtetig in dem Maaße,



Fig. 5. Eine Kette von Kalk-Sphäroïden, welche aus einer Löſung von Chlorcalcium niedergeſchlagen ſind durch kohlenſaures Kali. *c* die Kerne der Sphäroïde. 600:1.

wie durch die Membranbildung der Zellinhalt einen Verluſt erfährt, neuer Vorrath an plaſtiſchem Material eingeführt würde, ſo entſpräche das Gebilde in mechaniſchem Sinne mindeſtens dem vegetativen Theil einer niederen

[1]) Dr. J. Sachs, Zur Geſch. der mechaniſchen Theorie des Wachsthums der organiſchen Zellen. Bot. Ztg. 1878.

Pflanze. Drei im Pflanzenreich vorherrſchend in die Augen ſpringende Erſcheinungen fehlten dann freilich noch: die feine Structur organiſcher Membranen, die Theilungsfähigkeit und die conſtante Form.

Die TRAUBE'ſche Zelle läßt, wie ſchon aus der Diffuſion des Waſſers hervorgeht, ſolche Verbindungen diffundiren, deren Moleculargewicht kleiner iſt, wie das der beiden Membranogene. So diffundiren Ammonſalze z. B. durch eine Niederſchlagsmembran, welche aus Metallſalzen hergeſtellt wurde.

FAMINTZIN iſt es vor einiger Zeit gelungen, anorgane Formen ſo aus Chlorcalcium und kohlenſaurem Kali zu fällen, daß das noch plaſtiſche Kalk-Sphäroïd unter dem Auge des Beobachters wuchs, einen helleren, anders lichtbrechenden Kern differenzirte, der nach der Angabe FAMINTZIN's ſich theilte, ſo daß mehrere Kerne zum Centrum neuer Sphäroïde wurden. Er ſah in wenigen Minuten Drillinge, Vierlinge und Ketten von Kalk-

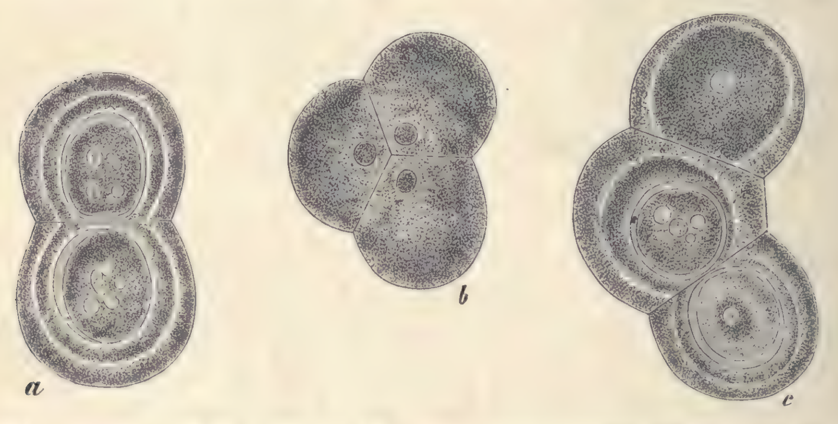


FIG. 6. Niederſchlagskörper von kohlenſaurem Kalk, durch vorſichtiges Zuſammenbringen von Chlorcalcium und kohlenſaurem Kali entſtanden (nach FAMINTZIN).

Sphäroïden entſtehen (Fig. 5). Jedes Individuum ſchichtete ſich in Schalen von verſchiedenem Lichtbrechungsvermögen. Eine große Anzahl der Gebilde ähnelte den zuſammengeſetzten Stärkekörnern, wie ſie in der Pflanze vorkommen, ſo ſehr, daß ſelbſt ein geübter Mikroſkopiker ſie nach dem bloßen Augenſchein für Stärke halten mußte (Fig. 6).

Bei der Herſtellung ſolcher Niederſchlagskörper bringt man zwei Tröpfchen von kohlenſaurem Kali und Chlorcalcium an einem Deckglaſe an, legt dieſes, nachdem man die Tropfen durch eine ſchmale Waſſerbahn in Berührung gebracht hat, ſo auf einen hohlen Objectträger, daß die Tröpfchen, an dem Deckglas hängend, vor Verdunſtung geſchützt ſind. An der Berührungsſtelle der beiden Tropfen bildet ſich eine TRAUBE'ſche Membran. Im Chlorcalciumtropfen entſtehen nach einiger Zeit jene allmälig anwachſenden Sphäroïde (Fig. 6).

Gewiſſe feine Structurverhältniſſe der Pflanzenmembran laſſen ſich ſynthetiſch ermöglichen in Kieſelſäure-Niederſchlägen, welche bei der

Zerſetzung von Siliciumfluorwaſſerſtoff entſtehen. Man verfährt bei dieſem Experiment ſo, daß man in einem Glasgefäß Sand, Flußſpath und Schwefelſäure miſcht und die entſtehenden Dämpfe von Siliciumfluorwaſſerſtoff in einem befeuchteten Baumwollpflock auffängt. Bei der Zerſetzung des Gaſes ſchlägt ſich die Kieſelſäure in Form der in Fig. 7 abgebildeten Schalen nieder. Dieſelben beſitzen die Geſtalt verzweigter Cylinder oder Kugeln, deren Wand zum Theil mit außerordentlich regelmäßigen Areolen bedeckt iſt. Andere Kieſelſchalen ſind mit zierlichen Warzen bedeckt oder die Schale iſt an regelmäßig umſchriebenen Kreisſtellen örtlich verdünnt (Beginn eines Porus). Von Intereſſe iſt, daß an ſolchen Kieſelſchalen die ſechsſeitigen Felder der Diatomeenpanzer mit verſchieden großem Durchmeſſer eines Feldes vorkommen. Ich habe ſolche Schalen hergeſtellt, bei welchen die Felder nur mit ſtärkeren Vergrößerungen aufgelöſt werden konnten. Andere laſſen die Felderung ſchon bei 2- bis 300-facher Vergrößerung erkennen.

Fig. 7. Zellengebilde aus Kieſelſäure: *A* verzweigte, abenteuerlich geſtaltete Cylinderketten. *B* Blaſen mit warzigen Verdickungen. *C* Blaſe mit ſechsſeitigen Feldern.

In ſehr alten mikroſkopiſchen Präparaten, welche mit Chlorcalciumlöſung eingeſchloſſen waren, zerſetzt ſich dieſe Löſung in der Weiſe, daß, jedenfalls ganz langſam wachſende, Sphäroïde von kohlenſaurem Kalk entſtehen (Fig. 8), welche durchaus den Inulinſphäroïden ähnlich ſind. Es ſind Kugeln und abgeglättete ſphäriſche Körper mit doppelter Schichtung und Streifung, welche in concentriſche Schalen und radial geſtellte Pyramiden differenzirt ſind. Wie das Inulin ſind ſie doppeltbrechend.

Fig. 8. Sphäroïd aus kohlenſaurem Kalk, welches ſich in der Chlorcalciumlöſung eines mikroſkopiſchen Präparates nach vielen Jahren gebildet hat.

Die geſetzmäßige Wiederholung der Pflanzenformen und der in ihnen vorgehenden Bewegungserſcheinungen iſt an die Wandlung eines beſtimmten Zellinhaltes gebunden — des Protoplasma. Dasſelbe iſt ein zähflüſſiger Körper, welcher die Zelle mehr oder weniger vollſtändig ausfüllt. Die Bewegungen der Protoplasmamaſſen, ſoweit ſie dem Auge des Beobachters mit Hilfe des Mikroſkopes direct zugänglich, ſind ſehr complicirt und werden in den hier nachfolgen-

den Abschnitten studirt. Von Generation zu Generation vermitteln kleine Protoplasmamassen den Zusammenhang, die Continuität organischen Werdens.

§ 2. Die Continuität der organischen Bewegungserscheinung[1]).

Denkt man sich eine Kette von vielen tausend Generationen einer und derselben Pflanzenart in die Vergangenheit und eine unendliche Reihe derselben in die Zukunft, von dem Zeitpunkt gerechnet, in welchem diese Betrachtung angestellt wird, so ist die Kette lebender Wesen in dieser Reihe *continuirlich* dadurch, daß in mikroskopisch kleinen Tröpfchen von Protoplasma der Ei- oder Keimzellen die Evolution des Pflanzen- oder Thier-Individuums beginnt. Eine feste, innerhalb weniger Generationen constante oder wenig wandelbare Form ist das Ende der Entwickelung. Jenes Tröpfchen stammt von einer vorhergehenden Generation und das aus ihm gebildete Individuum häuft erst nach bestimmter Zeit alle die Formkeime in sich an, welche nöthig sind, um von Neuem eine Keimzelle in dem gleichen Sinne wie vorher keimfähig zu machen. Es ist zunächst die Anhäufung der potentiellen Energie, die Keimkraft während

[1]) H. v. MOHL, Bemerk. über den Bau der vegetativen Zelle. Bot. Ztg. 44. S. 273. — H. v. MOHL, Ueber die Saftbewegung im Inneren der Zellen. 73. 89. Ueber das Wachsthum der Zellmembran. 337. 53. 69. 85. Bot. Ztg. 46. — GÖPPERT u. COHN, Ueber die Rotation des Zellinhaltes in Nitella flexilis. 665. 81. 97. 713. Bot. Ztg. 49. — SCHACHT, Die Pflanzenzelle, der innere Bau und das Leben der Gewächse. 1852. Berlin. C. W. F. Müller. — N. PRINGSHEIM, Ueber den Bau und die Bildung der Pflanzenzelle. 1. Abthlg. Theorie der Pflanzenzelle. 1854. Berlin. A. Hirschwald. — TH. HARTIG, Ueber die Functionen des Zellkerns. S. 574. Ueber das Verfahren bei Behandlung des Zellkerns mit Farbstoffen. S. 877. Bot. Ztg. 54. — TH. HARTIG, Ueber das Verhalten des Zellkerns der Zellbrut-Entwickelung. 161. Bot. Ztg. 55. — H. v. MOHL, Der Primordialschlauch. Bot. Ztg. 55. — MAX SCHULTZE, Das Protoplasma der Rhizopoden und der Pflanzenzellen. Leipzig. W. Engelmann. 1863. — CIENKOWSKY, Das Plasmodium. Pr. Jahrb. Bd. III, S. 400. — Dr. LEOPOLD DIPPEL, Entstehung der wandständigen Protoplasmaströmchen in den Pflanzenzellen und deren Verhältniß zu den spiral- und netzförmigen Verdickungsschichten. Halle. H. W. Schmidt. 1867. — S. ROSANOFF, *De l'influence de l'attraction terrestre sur la direction du Plasmodie des Myxomicètes. 1869—70.* — HUGO DE VRIES, *Sur la perméabilité du protoplasma des betteraves rouges. (Extrait des „Archives Néerlandaises". T. II. 1871.)* — Dr. W. VELTEN, Bewegung und Bau des Protoplasmas. 1872. — W. VELTEN, Ueber die Verbreitung der Protoplasmabewegungen im Pflanzenreiche. 645. Bot. Ztg. 72. — HANSTEIN, Vorläuf. Mittheil. über die Bewegungserscheinungen des Zellkerns in ihren Beziehungen zum Protoplasma. 22. 41. Bot. Ztg. 72. — C. F. W. KRUKENBERG, Ueber ein peptisches Enzym im Plasmodium der Mixomyceten. Unters. d. physiol. Instituts d. Univ. Heidelberg. II. 3.

der Evolution eines Individuums in der abzuſchnürenden Eizelle der complicirtere Vorgang in mechaniſchem Sinn. Die Auslöſung der potentiellen Energie in eine beſtimmte Art der actuellen während der Entwickelung, und mag der entwickelte Keim noch ſo complicirt ſein, iſt als eine Vereinfachung der Aufgabe für jede Zelle anzuſehen. Wir haben nun in jener Reihe von zahlloſen, hintereinander belegenen Keimzellen, durch welche die gegebene organiſche Bewegungserſcheinung continuirlich wurde, eine zweite Wandlung in's Auge zu faſſen: von Keimzelle zu Keimzelle wächſt die Größe der potentiellen Energie mit der Erhebung der Raçe und im Allgemeinen von den niederen nach den höheren Pflanzen die Zeitdauer, bis das Individuum mannbar wird, d. h. von Neuem eine mit allen Formkeimen verſehene Eizelle zu differenziren vermag. Dieſes Heranwachſen der potentiellen Energie über die ganze Kette iſt aber offenbar wie vorher bei der einmaligen Evolution des Individuums der complicirtere Proceß; derſelbe iſt gegenüber der einmaligen Entwickelung aus einer befruchteten Eizelle, nach der heute herrſchenden Deſcendenzlehre von einem inneren Bildungstriebe abhängig, welcher mechaniſch nicht begreiflich iſt. Mechaniſch betrachtet, iſt daher die Evolution der morphotiſch höheren aus den morphotiſch niederen Raçen ein einfacherer Proceß wie derjenige, durch welchen der Bildungstrieb in die frühere Eizelle angehäuft wurde.

Die Protoplasmamaſſe niederſter und niederer Pflanzen wird daher in ihrem molecularen Gefüge viel complicirter gedacht werden müſſen, wie diejenige in den vegetativen Zellen höherer Gewächſe.

Stellen wir mit Bezugnahme auf die heutige Deſcendenzlehre den vorſtehenden Gedankengang in einer Reihe von Sätzen zuſammen.

In zwei Formſtämmen (Raçen), welche in die Vergangenheit convergiren, iſt die organiſche Bewegung für ungeheure Zeiträume continuirlich dadurch, daß von Generation zu Generation in kleinen Protoplasmamaſſen die Keime zur Formentfaltung für die je nächſte Generation angehäuft werden. Dieß iſt der mechaniſch complicirtere Vorgang.

In dem Maaß, wie für die einmalige Auslöſung der Keimkraft während der Evolution eines Individuums aus der Eizelle die Form entſteht, verliert die Protoplasmamaſſe je eines der vielen Zellenabkömmlinge die Fähigkeit, den Geſammtcyclus der Eizelle auszuführen, bis nach der Vollendung der vegetativen Form und nach Aufwand von gewiſſer Zeit, bis zur Mannbarkeit, in beſtimmt localiſirten Zellen die Abſonderung der Eizellen möglich wird. Dieſe Evolution der vegetativen Organe iſt in mechaniſchem Sinne der einfachere Proceß.

In unſeren zwei in die Vergangenheit convergenten Aeſten muß der mechaniſche Vorgang der Anhäufung von potentieller (Keim-)Energie in dem Schnittpunkt der Zweige, dem Ort, wo zwei verſchiedene Eizellen in

einem Form-Individuum Urſprung nahmen, complicirter ſein wie in allen Eideſcendenten der ſpäteren Generationen. In dem älteren Eideſcendenten muß daher der moleculare Vorgang der Anhäufung von Formkeimen im Allgemeinen complicirter ſein wie in den jüngeren.

Unter dieſem Geſichtspunkt erſcheint uns die Evolution der jetzt angepaßten Raçen als eine ſtetig ſich vereinfachende Aufgabe, je höher die Raçe ſich erhebt, gegenüber dem Proceß der Anhäufung der Keimkraft, welcher in den Ahnen unſerer heutigen Raçen ſich vollzog, in welchen zwar die Demonſtration der äußeren Form einfacher, die moleculare Anordnung dagegen complicirter war.

Wenn es an der Erde eine einzige zuſammenhängende Protoplasmamaſſe gegeben hätte, in welcher die Keime der heutigen Formen gleichmäßig vertheilt waren (dieß wäre die alleräußerſte Conſequenz, zu welcher ſich billigerweiſe unſere Phantaſie verſteigen darf), ſo müßte dieſelbe ſelbſt ſchon (nach unſerer Vorſtellungsweiſe) ſo complicirt ſein, daß ſie von dem Wiſſen eines Phyſikers und Chemikers aus nicht mehr beherrſcht werden kann, gerade deßwegen, weil aus ihr im nächſten Schritt der Erhebung und Gliederung in verſchiedene Raçen Bewegungsänderungen auftreten, welche als innerer Trieb in der urſprünglichen Maſſe vorbeſtimmt waren. Dieſer Trieb nach verſchiedener Geſtaltung iſt nach unſerer heutigen Erkenntniß nicht mechaniſch zu erklären.

Die Discuſſion liegt jetzt an der äußerſten Grenze des für den Zweck des vorliegenden Handbuches umſteckten Gebietes. Soviel wird Jedermann, der Neigung zum Nachdenken über Naturproceſſe in ſich trägt, nachempfinden. Bei der Betrachtung zweier Keimlinge, der eine dem Apfel, der andere der Birne entſproſſen, iſt die geheimnißvolle Kraft, welche in denſelben ſteckt, räthſelhafter wie die Formentwickelung nach der Ausſaat, welche aus dem einen einen Birn-, aus dem anderen einen Apfelbaum macht, auf gleichem Boden und bei gleichen äußeren Bedingungen. Die äußere feſte Form der Pflanzen kann vielleicht als eine Anpassung aufgefaßt werden, gegenüber den bis jetzt wenig zugänglichen molecularen Vorgängen in den Keim-(Ei-)Zellen. Die niederſte hüllenloſe Protoplasmamaſſe aber im Gegenſatz zu jener ſtarren, feſten Hülle der höheren Pflanze kann nicht in dieſem Sinne begriffen werden. Ihre Bewegungen ſind zu mannigfach. Ich betrachte das Protoplasma, indem ich, von den nackten thieriſchen nach den pflanzlichen fortſchreitend, zu den Plasmakörpern gelange, welche feſte pflanzliche Zellräume bewohnen.

A. Nackte Protoplasmamassen.

In dem ſtagnirenden Waſſer der Teiche, Flüſſe, Sümpfe, aber auch in feuchter Erde, im Moos und Moor, leben die niederſten, nackten, hüllen-

losen Protisten. Es sind flüssige Massen mit einer hyalinen Grundsubstanz, welche geformte dichtere und weniger dichte Körner von verschiedenem Durchmesser enthält. Ein solcher Plasmakörper verändert langsam und stetig seinen Umriß, indem er flüssige Ausläufer aussendet, andere einzieht. Er verändert stetig die Anordnung seiner sichtbaren Inhaltstheilchen, indem er hier wasserreiche, scharf umschriebene Blasen (Vacuolen) bildet, dort verschwinden läßt.

Die beiden Amöben (Fig. 9) gerathen offenbar einmal in eine und dieselbe äußere Form, so daß man sie alsdann für zwei der Art nach gleiche ansehen könnte, und nur die längere Beobachtung läßt in der Formenreihe, welche von jeder durchlaufen wird, in der Art und Weise, wie die Vacuolen entstehen und vergehen, einen Charakterunterschied erkennen. *A* führt kleine Excursionen nach allen möglichen Richtungen, *B* führt stetig fortschreitende, wälzend strömende Bewegung aus. Bei der Amœba princeps (Fig. 10) ist die Stromrichtung ganz constant. Die Spitze bildet dichotome Abzweigungen, welche entstehen und vergehen, während der ganze Körper fortschreitet.

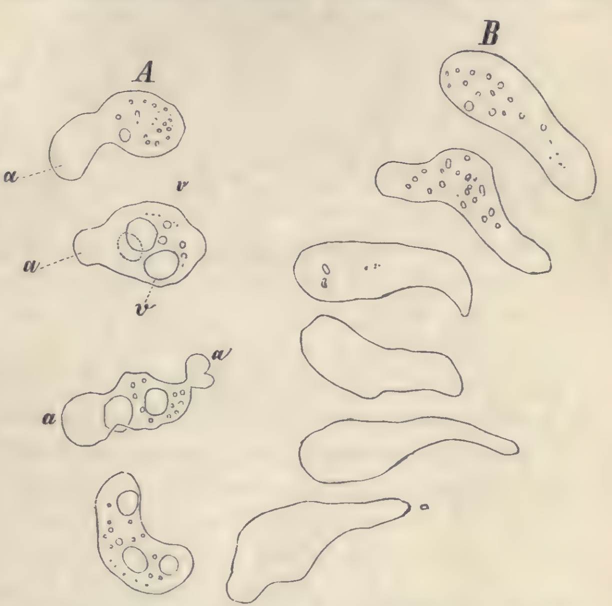


Fig. 9. Zwei Amöben, jede im Verlauf von 1—2 Minuten durch die Reihe *A* und *B* beobachtet. Aus dem Formencyclus ergibt sich, wiewohl gleiche Formen in beiden Reihen vorkommen, eine Charakterverschiedenheit der zwei Massen. In *A* sind die körnerlosen Ausstülpungen der Grundsubstanz, bei *a* lehrreich. *v* Vacuole, welche verschwindet und wieder auftritt.

Die Amöbe Fig. 11 bewegt sich außerordentlich mannigfach, sie durchläuft in 4 Minuten die Formenreihe *a* bis *f*, bald mit vielen Pseudopodien *a* bis *e*, bald abgerundet mit einem herrschenden spitzen Ausläufer; sie schmiegt sich der Luftblase *L* an und umwandert dieselbe, bildet zahlreiche kleine Vacuolen

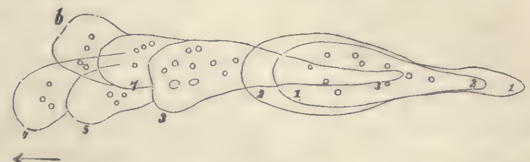


Fig. 10. Amœba princeps Ehrenberg (nach der Natur gez.). Amöbe mit constanter Stromrichtung des Pfeiles. Die Lagen der Masse *1 1*, *2 2*, *3 3* zeigen, daß der Körper strömend fortrückt, so zwar, daß an dem vorderen Ende nach links und rechts blasige Ausstülpungen getrieben, welche sofort wieder eingezogen werden, wie eine derselben in der Hauptstromrichtung dominirt. (In Ehrenberg's Atlas beschrieben.)

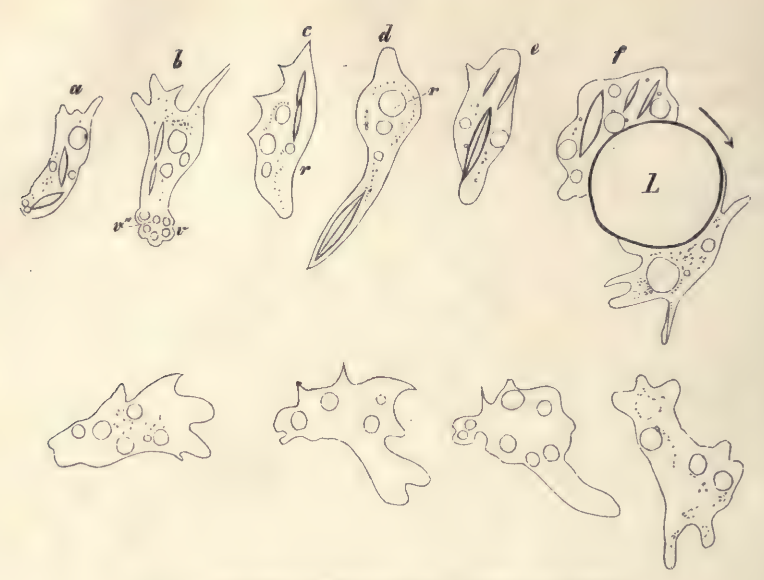


Fig. 11. Süßwaſſer-Amöben in aufeinanderfolgenden Zuſtänden.

v'' v in *b,* welche demnächſt wieder verſchwinden.

Bei einer anderen waſſerbewohnenden Amöbe, Fig. 12, tritt die Sonderung der glashellen Grundſubſtanz von der Körnermaſſe dann beſonders

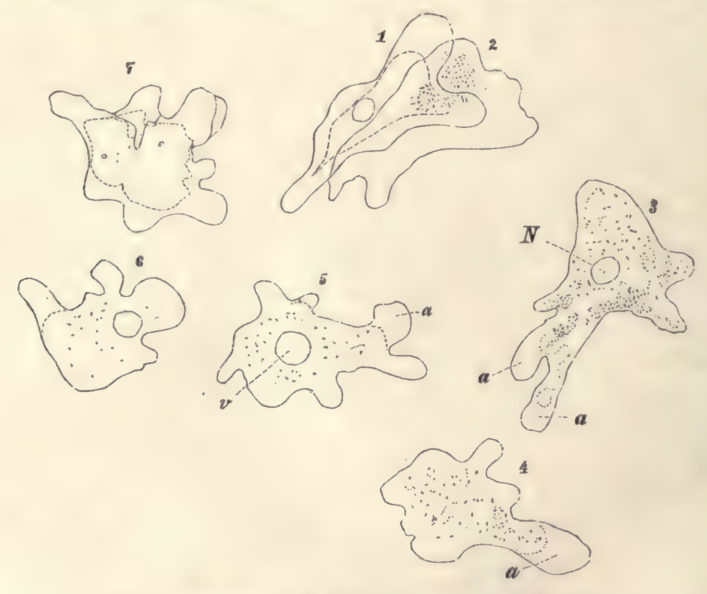


Fig. 12. Amöbe, durch die Reihe 1 bis 7 verfolgt. *v* Vacuole.

ſcharf hervor, wenn ſich die erſtere am Rande in blaſige Ausſtülpungen mannigfach verſchiebt.

Unter den erdebewohnenden Amöben gibt es pigmentführende; die Amphizonella violacea z. B. enthält ein violettes Pigment neben einem diffus verbreiteten gelben. Die trägen Bewegungen dieser Amöbe bestehen in der Bildung flossenartiger Ausstülpungen der hyalinen Grundsubstanz *a b*, Fig. 13. Comprimirt man die Masse, so zerreißt die zähflüssigere Hülle *a b* und der körnerreiche, dünnflüssigere Inhalt tritt aus. Gleichwohl darf jene Hülle *a b*, Fig. 13, nicht als fest angesehen werden. Sie stellt jedenfalls einen zähflüssigen, plastischen und gering elastischen Aggregatzustand dar.

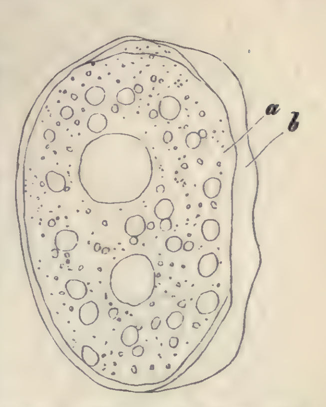


Fig. 13. Amphizonella violacea. Erdbewohnende Amöbe zwischen Moos und Flechten. *a b* Contouränderung innerhalb 10 Minuten. (Schafsberg bei Limburg, Thilenius.)

Im Allgemeinen verlaufen die Formände-

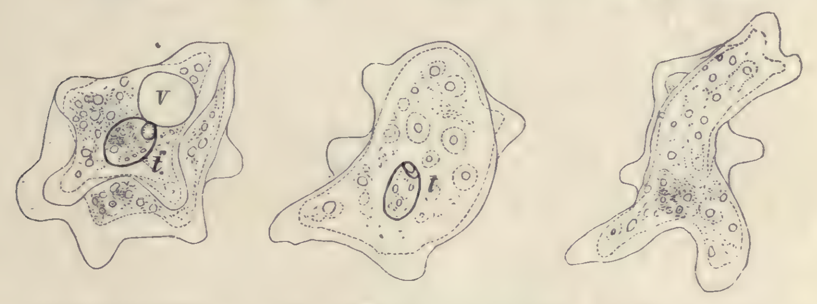


Fig. 14. Amœba terricola (Græff a. a. O.[1]) in drei Stadien, welche innerhalb 10—15 Minuten an einem und demselben Individuum beobachtet wurden. Temperatur 20° C. *t* eine eingeschlossene Trinema acinus (beschalte Monothalamien). *V* Vacuole.

rungen der erdbewohnenden Amöben langsamer wie diejenigen der wasserbewohnenden, wie die Vergleichung der beiden Aufnahmen Fig. 14 und Fig. 15 zeigt. In Fig. 14 werden 10 bis 15 Minuten, in Fig. 15 aber nur wenige Secunden gebraucht, um auffällige Gestaltänderungen hervorzubringen. Fast alle wasserbewohnende Amöben schließen gelegentlich fremde Körper, niedere Algen aus den Familien der Palmellaceen, Desmidieen, Diatomeen u. a. m. ein. Sie zerstören das Leben in diesen und assimiliren

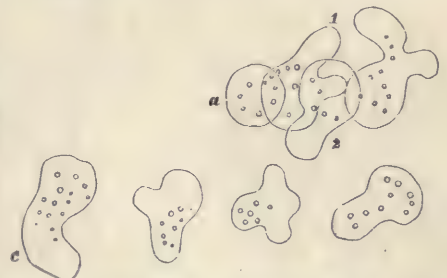


Fig. 15. Amöbe in ihrer Formveränderung durch die Reihe *a b c d* dargestellt. Die Aufzeichnung der Umrisse der hyalinen Grundsubstanz konnte kaum der Bewegung folgen, von Secunde zu Secunde veränderte sich der Umriß. In *a* ist die Amöbe eine Kugel, in *1* zweiarmig. In *2* fließt sie wieder nach der entgegengesetzten Seite u. s. f. 1 : 450.

[1]) Ueber einige in der Erde lebende Amöben. R. Græff in M. Schultze's Archiv für mikr. Anat. 1866. S. 299.

einen Theil des flüſſigen Inhaltes der aufgenommenen Zellenpflanzen[1]). Die Reſte werden während der Bewegung wieder ausgeſtoßen. Bei jener Amœba princeps, Fig. 10, mit raſch ſtrömender Bewegung erfolgt die Aufnahme an dem vorderen, die Abgabe der Reſte an dem hinteren Ende, bezogen auf die fortſchreitende Richtung.

Die Vampyrella vorax, Fig. 16[2]), iſt eine ſphäriſche Plasmamaſſe mit haarfeinen Pſeudopodien *A*, ſie ſchließt die kleineren Diatomeen vollſtändig ein, *B*, ohne dieſe Geſtalt zu verändern. Größere Synedren, wie die in Fig. *C*, gegenüber welchen ihre Maſſe ſehr klein iſt, überzieht ſie. Nach der vorliegenden Beobachtung rückt ſie in *1*, *2*, *6 Minuten* in der dargeſtellten Weiſe über den Körper der Synedra, ſo daß nach vollſtändiger Umſchließung der Paraſit als dünner Ueberzug über jene Synedra kaum noch erkannt werden kann.

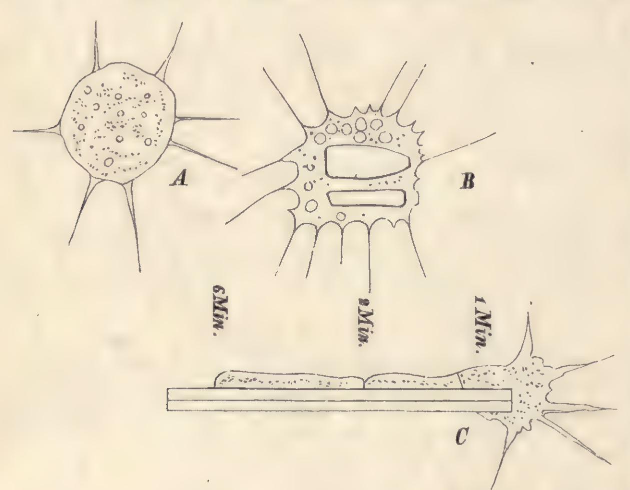


Fig. 16. Vampyrella vorax, nach der Natur gezeichnet.

Am complicirteſten von allen thieriſchen Protiſten iſt die Actinoſphæra Eichhornii, Fig. 17. Sie ſtellt eine vollſtändig flüſſige, in zellige Hohlräume gegliederte Kugel dar, von welcher lange Stäbe ausſtrahlen. Die periphere Schale der Kugel beſteht aus hyaliner Grundmaſſe, welche um polyedriſche Vacuolen ein geſchloſſenes Zellennetz bildet. Das Centrum der Kugel Fig. 17 (rechte Hälfte) enthält ein ebenſolches Zellenwerk mit körnigen Platten und Kernen. In großen Vacuolen befinden ſich die gefangenen niederen Algen aus den Familien der Diatomeen, Desmideen, Volvocineen u. ſ. f.[3]).

Die Strahlen ſelbſt entſpringen dem inneren Theil der Kugel und durchſetzen die hyaline Hülle, ſie ſind differenzirt in einen maſſiven Axenſtab *a* und einen hyalinen Mantel in Fig. 17 *B*, in welchem die Körner *k k'* ſich gleitend bewegen.

---

[1]) Hier handelt es ſich jedenfalls um einen Verdauungsproceß.

[2]) Czienkowsky, Ueber einige Rhizopoden und verwandte Organismen. Schultze's Archiv für mikr. Anat. XII.

[3]) Paſtor Eichhorn, «Der Stern». 1776. — Wallich. — Hæckel. — Schultze's Archiv. XXXI. Band.

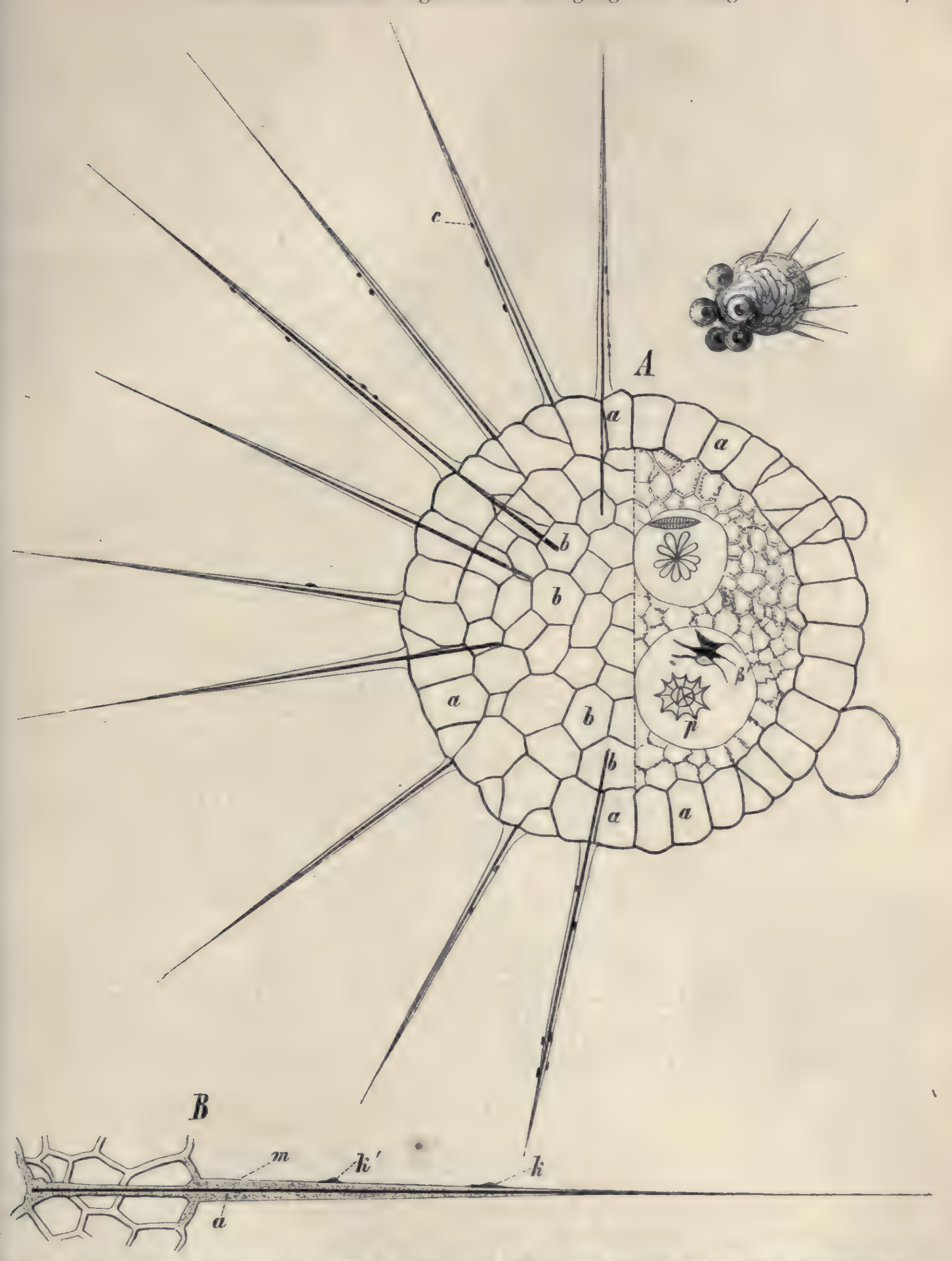


Fig. 17 *A*. Actinoſphæra Eichhornii. Links von der punktirt. Linie iſt d. Zone der Grenzzellen i. optiſchen Durchſchnitt *a a* ..., und in der Kugelfläche ſind dieſelben Zellen in ihrer Flächenanſicht dargeſtellt *b b* ... Rechts von der punktirten Linie aber iſt ein opt. Durchſchnitt durch d. ganze Kugel dargeſtellt. Man unterſcheidet nach der Vertheilung der hyalinen, homogenen u. körnigen Maſſe 4 verſchiedene Räume: die Grenzzone *a a* ..., die körnigen kleineren i. Innern, ganz m. körnigem Plasma erfüllte Gruppen $\alpha\alpha'$, zum vierten 2 große Blaſen hyalin und homogen. Die eine enthält ein Pediaſtrum *p* und eine Scenedesmusgruppe β', die andere eine Diatomee und eine Volvocinee (um Raum zu ſparen, wurden die Strahlen rechts weggelaſſen). Fig. 17 *B*. Eine kleine Parthie der Kugel und ein Protoplasmaſtrahl mit größeren *k* und kleineren Körnern, welche in einer hyalinen Hüllſchicht *m* eingebettet, um eine dichtere Axe *a* fortfließt.

Die randſtändigen Vacuolen *a a* treiben oft blaſige Anſchwellungen, welche über die Peripherie der Kugel weit hervorragen. Schneidet man eine Actinoſphäre mit einem kleinen Meſſerchen in zwei Hälften, ſo gruppiren ſich die flüſſigen Theile nach einiger Zeit doch wieder ſo, daß zwei Individuen entſtehen, indem die Randſchicht an jeder der Durchſchnittsflächen von Neuem gebildet wird.

Mit Bezugnahme auf die Abhandlung S. 15 geht aus der Schilderung der Bewegungsformen der nackten Protoplasmamaſſen hervor, daß ſchon in der flüſſigen Protoplasmamaſſe ſtete Charakterzüge in der Bewegung zum Ausdruck kommen, welche auf eine hochgradige Differenz in der molecularen Anordnung ſchließen laſſen. Die Bewegung ſelbſt iſt ſo complicirt, daß die Formänderungen in der Evolution der höheren Pflanzen für je eine Raçe in mechaniſchem Sinne einfacher erſcheinen. Denn es iſt der ſtete Wechſel der Form und die ſtete Tag und Nacht und immer durch unendliche Zeiträume anhaltende Umlagerung der kleinſten Theilchen, welche hier in's Auge ſpringt. Dieſe Bewegung läßt einen einigermaßen ſtabilen Zuſtand der Form nicht zu, wie er in der Zellenpflanze erreicht iſt.

B. Thierische beschalte Protoplasmamassen.

Wir betrachten zwei der lehrreichſten Protoplasmakörper: Cochliopodium pellucidum und Zyphoderia margaritacea (SCHLUMBERGER).

Die erſtere ſtellt eine flache, tellerförmige Scheibe, Fig. 18, 19, im

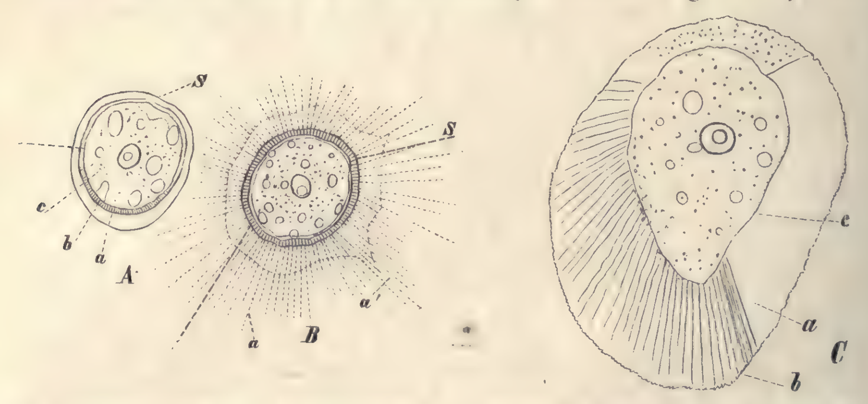


FIG. 18. Cochliopodium pellucidum. THILENIUS (Baſſins in der Umgebung von Wiesbaden). Eine Amöbe in drei Zuſtänden, welche im Zeitraum von 15—20 Minuten im Mikroſkop beobachtet wurden. *A. a* hyaline Schicht, *b* dichtere Körnerſchicht im optiſchen Durchſchnitt, *c* Körnermaſſe der inneren Kugel. *B. a a'* außerordentlich feine (körnig punktirt erſcheinende) Strahlen. *C.* In *a* die Strahlen und die hyaline Schicht vereinigt bis auf eine äußerſt feine Zähnelung bei *b*.

Durchſchnitt dar, *m m* die ſtarre, feſte Hülle, *P P'* die bewegliche Plasmamaſſe. In der Richtung des Pfeiles, Fig. 19, betrachtet, erſcheint die aus der Schale ausfließende Maſſe, wie die Figuren 18 *A*, *B*, *C* zeigen, als

eine kreisförmige Figur, an deren Rande außerordentlich feine Körnerftrömchen fich ausbreiten. Im Verlauf von 10—15 Minuten verändert fich der Contour, fo daß er bald ganz nach dem Rande der Schale eingezogen, bald in jene fehr feinen Strahlen aufgelöft wird, bald als breite, gezahnte und geftreifte Floffe hervorragt.

Nach der Auffaffung von THILENIUS[1]) ift *S*, Fig. 18 *B*, jene geftreifte Schale, eine fefte, wenn fchon fehr zarte Hülle, durch deren Oeffnung die Protoplasmafäden ausfließen. Der Organismus ift in einer Ebene, welche fenkrecht zu den Figuren 18 fteht, eine Mütze *m m*, mit der Oeffnung, aus welcher die Protoplasmamaffe *P P'* ausfließt. Die Figuren 18 find daher Anfichten von Fig. 19, welche in Richtung des Pfeiles gewonnen wurden.

Die Bewegung der Plasmamaffe ift eine träge fließende, dabei aber treten jene Aenderungen in der Lage der feften Theilchen zu den flüffigen außerordentlich rafch auf, wie dies aus der Veränderung der Streifung in der Maffe und der Zähnelung an ihrem Rande kenntlich wird.

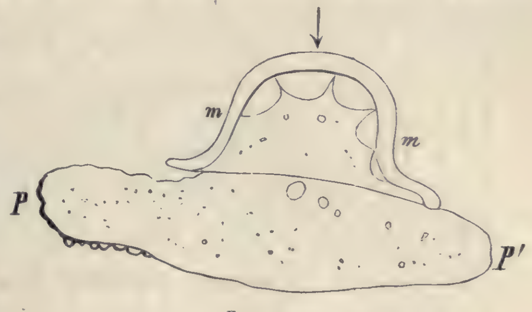


FIG. 19.

Bei der Cyphoderia [Lagynis][2]), einer befchalten Rhizopode des füßen Waffers, ift das Studium der Bewegung von noch größerem Intereffe. Im gegebenen Momente füllt die Plasmamaffe die Schale vollftändig aus, Fig. 20 *a*. Soeben beginnt das Ausfließen aus der Mündung *M*. Bald breiten fich lange, vielverzweigte, oft äußerft zarte hyaline Fangarme von Protoplasma aus, in dem Maaße, wie die Flafche entleert wird. Bei dem allmäligen Zurückziehen der Maffe von der Wand bleiben einzelne Stellen dort haften α α, bis endlich der größte Theil des Organismus aus der Mündung getreten ift. Bei diefem Ausfließen differenzirt fich die Körnerfchicht *k* von der hyalinen Grundfubftanz *c*, Fig. 20, fo daß zwei Menisken den hinteren Theil des Rhizopoden abgrenzen. Der von dem Rhizo-

[1]) Vortrag im naturwiffenfchaftlichen Verein in Wiesbaden. Nov. 1876. — SCHULTZE, Archiv für Mikrofkopie. HERTWIG & LESSER. Supplem. zum X. Band.

[2]) Cyphoderia margaritacea. SCHLUMBERGER, 1845. Ann. d. fc. nat. III. S. 3. d. — 1852. PERTY (Bern), Zur Kenntnißder kleinften Lebensformen. — 1854. MAX SCHULTZE, Organismus der Polythalamien. — 1858. FRESENIUS, Abhandl. d. Senkenberg. Gefellfch. Frankfurt. — 1857. STEIN, Sitz.-Ber. der Böhm. Acad. — 1864. CARTER, Ann. of natur. hiftory: «on frefhwater rhizopodes of England and India». — 1864. WALLICH, Ann. of natur. hiftory. — 1874. HERTWIG & LESSER, SCHULTZE's Archiv. X. Band. Supplem. — 1875. E. E. SCHULZE, in Arch. für Anatomie. — Fundort: Genf, Simplon, Bonn, Wiesbaden, nach THILENIUS in allen Teichen.

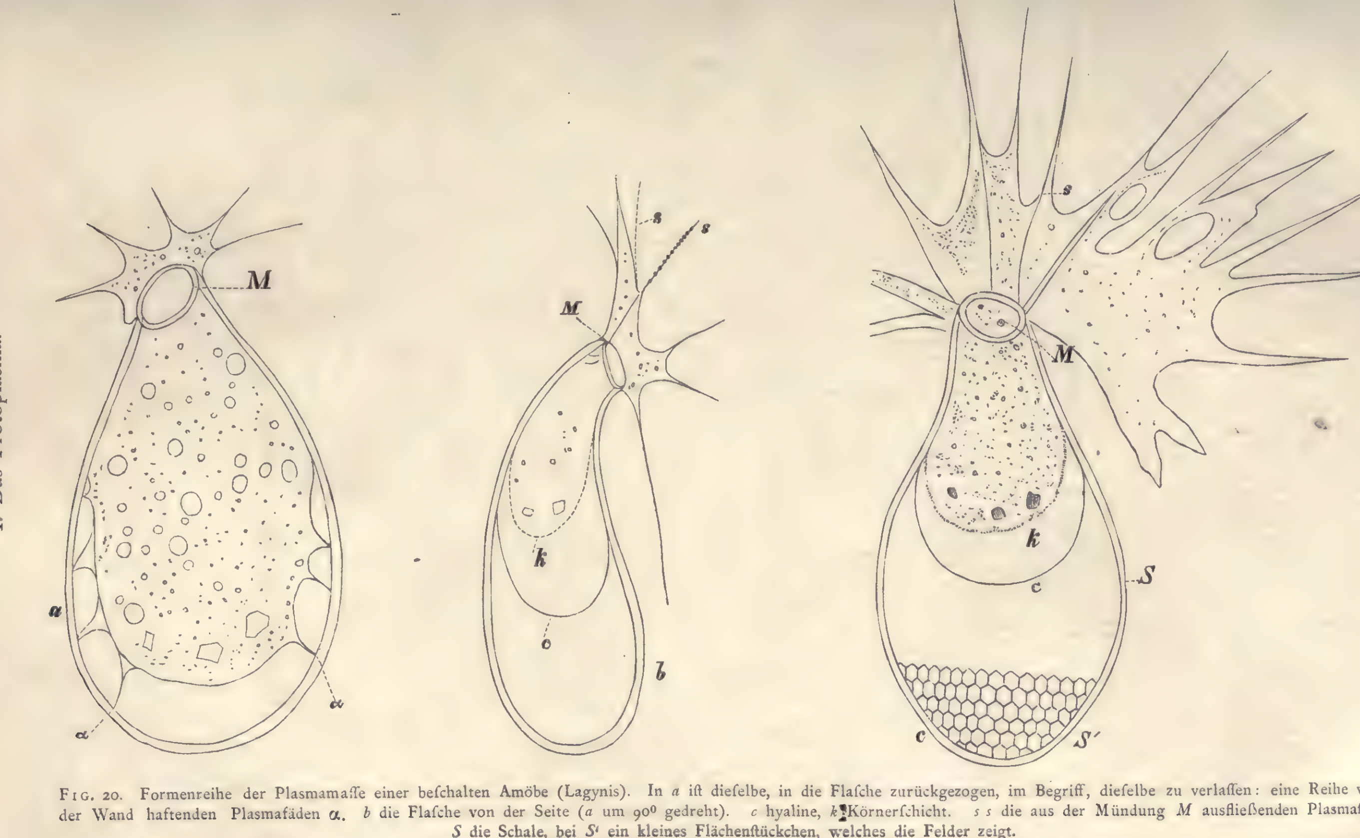


Fig. 20. Formenreihe der Plasmamaſſe einer beſchalten Amöbe (Lagynis). In *a* iſt dieſelbe, in die Flaſche zurückgezogen, im Begriff, dieſelbe zu verlaſſen: eine Reihe von an der Wand haftenden Plasmafäden α. *b* die Flaſche von der Seite (*a* um 90⁰ gedreht). *c* hyaline, *k* Körnerſchicht. *s s* die aus der Mündung *M* ausfließenden Plasmaſtröme. *S* die Schale, bei *S′* ein kleines Flächenſtückchen, welches die Felder zeigt.

poden verlaſſene Theil der Schale in *a b* iſt gleichwohl mit Flüſſigkeit angefüllt. Es muß daher bei der Lagenänderung, wie ſie von *a* nach *c* graphiſch dargeſtellt iſt, ein der Plasmamaſſe entgegengerichteter Waſſerſtrom nach dem Bauch der Flaſche herrſchen.

§ 3. Pflanzliche nackte Plasmamassen.

Mit Ausnahme der in der feſten Form niedrigſt gegliederten Mixomyceten und der Geſchlechtszellen und Schwärmſporen der niederen Pflanzen iſt das Protoplasma in allen Pflanzen in Hohlräumen eingeſchloſſen, deren Wände von ihm ſelbſt aufgebaut wurden. Die Bewegung der nackten Plasmamaſſen iſt eine ſtrömende, eine gleitende oder Flimmerbewegung.

Bei der erſteren entfaltet ſich aus der hyalinen flüſſigen Grundſubſtanz ein im Allgemeinen dentritiſches Stromnetz, in welchem die Körnchen ſtrömend fortfließen. Bei der zweiten werden ganze Parthieen der zähflüſſigen Maſſe in einer vorgeſchriebenen Bahn gleitend bewegt. Bei der dritten bewegt ſich eine ſcharf umſchriebene Plasmamaſſe von beſtimmter Form dadurch, daß wimperartige Plasmaausſtülpungen durch ihre Schwingungen den Geſammtkörper im Waſſer fortſchieben.

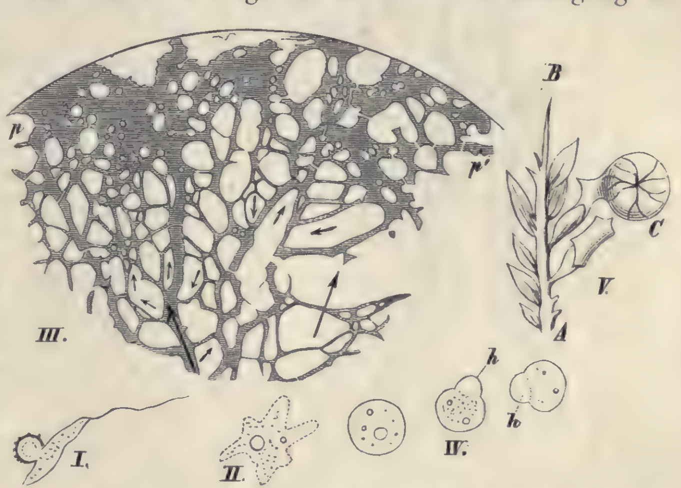


FIG. 21. *I.* Der Schwärmer von Aethalium ſepticum. *II.* Die Amöbe von Aethalium. *III.* Das Plasmodium von Aethalium. *IV.* Die Amöboïden-Bewegungen eines Plasmatropfens der Spongilla innerhalb 5 Minuten. *V.* Das Capillitium eines Mixomyceten auf einem Moospflänzchen.

Die Sporen der Mixomyceten[1]) entlaſſen zur Zeit der Keimung in feuchter, warmer Unterlage den Schwärmer, Fig. 21 *I*, welcher, mit einer Cilie verſehen, eine rotirende Bewegung im Waſſer ausführt. Nach eini-

[1]) Syſtematik der Mixomyceten, ſ. FUCKEL, Symbolae mycologicae aus d. Jahrb. d. naſſ. Ver. f. Naturk. Jahrg. 23 u. 24. WIEGAND in PRINGSHEIM's Jahrb. Bd. III. S. 1.

ger Zeit wird diefe langfamer, die Cilie wird eingezogen und die Maffe geht in den Amöbenzuftand über (Fig. 21 *II*. Vergl. Figurenerklärung *IV*).

Die Bewegungen diefer find identifch, wenn fchon träger wie die der oben befchriebenen thierifchen Protiften. Die Amöben verfchmelzen zuweilen durch Zufammenfließen, fie ernähren fich felbftändig. Die Maffe wächft und wird zum Plasmodium, Fig. 21 *III*, ein Stromfyftem, in welchem die complicirtere Bewegungsform herrfcht. Die Plasmodien führen weite Wanderungen aus, indem die hyaline Grundfubftanz gegen die Schwere und in der Richtung diefer fortfließt. Die Figur 21 *III* ftellt ein folches Syftem auf einer ebenen Glasplatte dar. In jedem der Stromarme herrfcht Bewegung. Nach allen möglichen Richtungen communiciren die Hauptarme durch kleinere, ein Netzwerk darftellende Seitenftrömchen. Im Allgemeinen befteht in dem vorliegenden Syftem eine in der Richtung des großen Pfeiles vorherrfchende Translocation, fo daß in einer peripheren Gegend des Syftems die Maffe fich anhäufen muß. In wenigen Minuten aber kann der Strom, sowie in jedem Zweiglein umfchlagen, derart, daß ganz neue Bahnen eingefchlagen werden und das ganze Syftem in jedem Theil feine Configuration verändert.

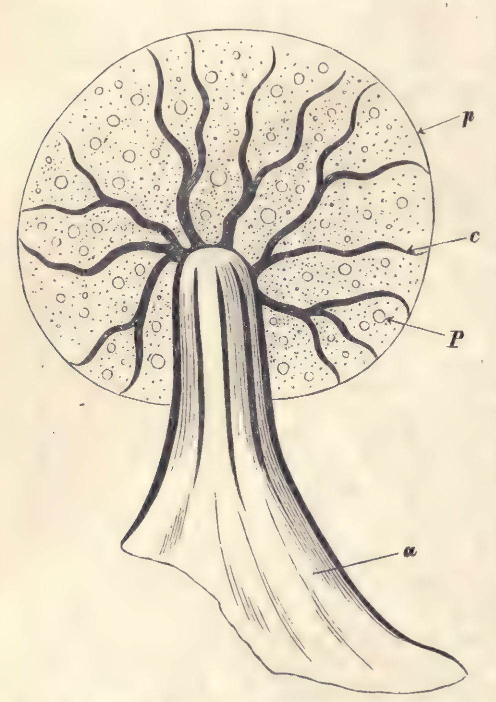


Fig. 21 A. Capillitium eines Mixomyceten. *a* Structurlofe Lamelle. *p* Peridie. *c* Haarfäden. *P* Protoplasma.

A. Art der Strömung.

Bei dem Auftreten einer neuen Strombahn wird ftets die hyaline Grundfubftanz vorgefchoben, und fie fließt wie ein Strom von Waffer in einem Flußbett. In folchen Strängen gleiten die Körner, fich drängend, zufammenftoßend und fich gegenfeitig ausweichend. In einem Strange können felbft zwei gegenfinnige Ströme verlaufen, fo daß die Körnchen des einen mit denjenigen des andern mitunter in ftrudelnde Bewegung gerathen.

B. Verhalten gegen die Gravitation und Centrifugalkraft.

Wenn die Plasmodien auf Glasplatten in ftrömender Bewegung find, fo beobachtet man, daß die Gefchwindigkeit abhängig ift von der Lage

der Platte zum Loth. Bei geneigter und lothrechter Stellung der Platte bewegen ſich die dentritiſchen Aeſte raſcher nach oben wie nach den horizontalen und abwärts gehenden Richtungen. Dieß iſt ſehr wahrſcheinlich eine Folge des Auftriebes in der Hauptſchicht oder in der an der Platte haftenden dünnen Waſſerſchicht. Rosanoff unterſuchte die Einwirkung der Centrifugalkraft. Er ließ Plasmodien von Aethalium ſepticum, welche ſich auf einer Glasplatte geſammelt hatten, in horizontaler Stellung der Platten rotiren. Der Erfolg war eine Ausbreitung der Maſſe auf einen größeren Kreis, ſo zwar, daß dieſelbe ſich nicht dentritisch verzweigte.

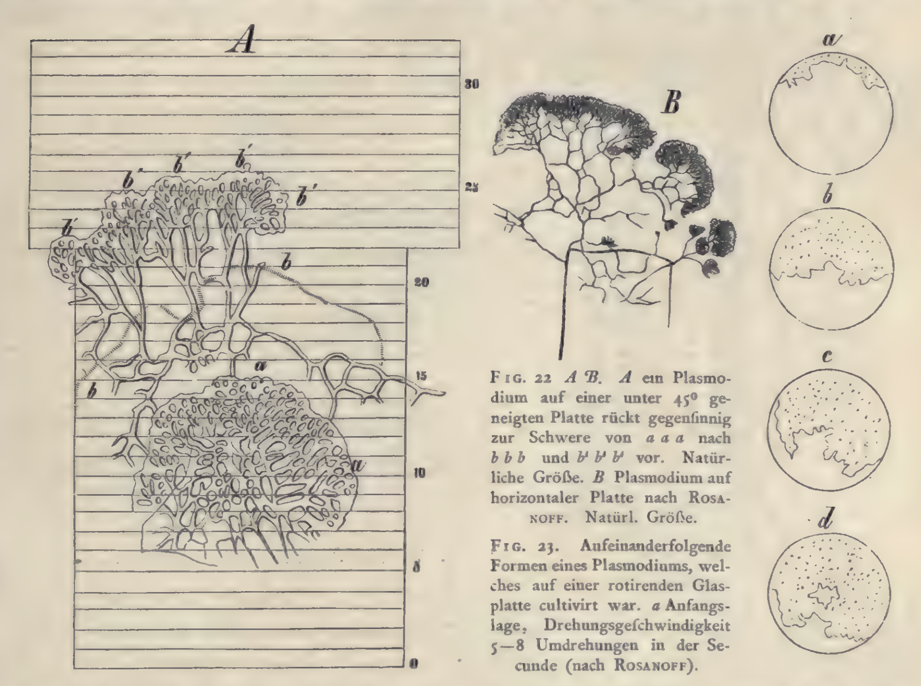


Fig. 22 *A B*. *A* ein Plasmodium auf einer unter 45° geneigten Platte rückt gegenſinnig zur Schwere von *a a a* nach *b b b* und *b' b' b'* vor. Natürliche Größe. *B* Plasmodium auf horizontaler Platte nach Rosanoff. Natürl. Größe.

Fig. 23. Aufeinanderfolgende Formen eines Plasmodiums, welches auf einer rotirenden Glasplatte cultivirt war. *a* Anfangslage. Drehungsgeſchwindigkeit 5—8 Umdrehungen in der Secunde (nach Rosanoff).

Ohne Zweifel bewirkt der Auftrieb im Waſſer in dem einen Fall, die Centrifugalkraft im andern eine Beſchleunigung der Theilchen.

Das Heben und Senken der Plasmamaſſen in dem feuchten Subſtrat der Gerberlohe muß jedenfalls eine Folge des Auftriebes der Geſammtmaſſe ſein. Es läßt ſich denken, daß dieſelbe, ungeachtet der ſelbſtändigen Bewegung der kleinſten Theilchen, im Geſammten durch ein ſpecifiſches Gewicht, welches größer wie Waſſer, in Richtung der Schwere beſchleunigt wird, durch ein kleineres ſpecifiſches Gewicht in den capillaren Waſſerräumen der Unterlage einen Auftrieb erfährt. Ein Wechſel in der

¹) *Extr. d. mém. de la Soc. impériale d. ſc. nat. de Cherbourg. V. XIV.* — S. Rosanoff, *Influence de l'attraction terreſtre ſur la direction des plasmodia.*

Dichte der Gefammtmaffe aber dürfte in Folge des Stoffwechfels fehr möglich fein. Experimentell läßt fich die Sache aber bis jetzt nicht entfcheiden.

C. Das Capillitium.

Der Cyclus der Mixomycetenentwickelung, welcher bisher gefchildert, fchließt ab mit der Bildung des Sporenkörpers. Die Maffe des Plasmodiums fließt zufammen und bildet wenige mm große flüffige Warzen, in welchen fich gefchichtete Zellftofffäden und zahlreiche dentritifche Haarfäden differenziren. In unferer Figur 23 *A* ift *A* der Hauptftamm, *c* das Haargeflecht (Capillitium). Die Protoplasmamaffe zerfällt in zahllofe kugeliche Sporen, welche von einer feften Membran eingehüllt find.

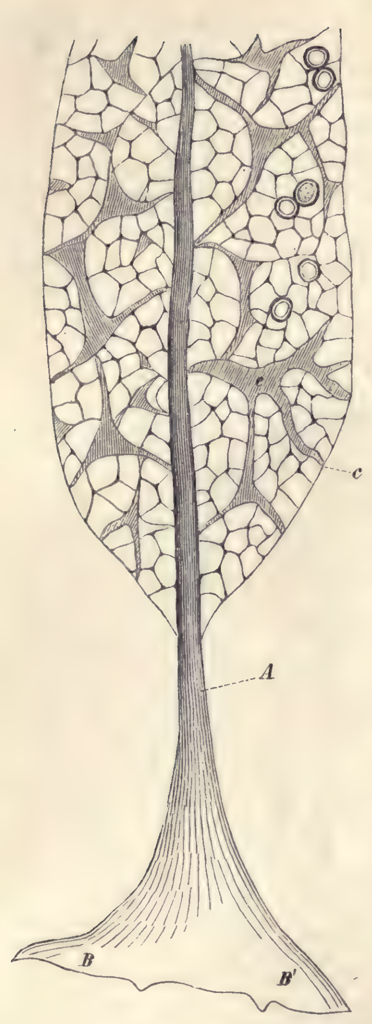


Fig. 23 *A*. Capillitium von Stemonites fusca. Der Körper entfpringt in *B B'* der ftructurlofen erhärteten Plasmamaffe, ift in der Achfe *A* in einen maffiven Zellftoffftab und außerordentlich feine, hie und da (in *e*) verbreiterte Haarfäden differenzirt, welche in eine feine Hülle verlaufen.

---

§ 4. Plasmamassen, welche in dem Zellhohlraum eingeschlossen sind[1].

1. Lage des Protoplasmakörpers.

Das Protoplasma füllt die Zelle der Pflanze lückenlos aus und adhärirt an der feften Wand, fo daß eine Differenzirung in wafferreichere Orte nicht kenntlich ift, fo in allen jungen, eben entftehenden Zellen der vegetativen Gewebe höherer Pflanzen. Mit dem Heranwachfen der Zelle aber vertheilt fich die Maffe in mannigfacher Weife. Die Configuration der Plasmaftränge ift dann abhängig von der Geftalt der wafferreichen Orte (Vacuolen) und der anderweiten flüffigen und feften Zellinhalte. In den Wurzelhaaren von Hydrocharis, den Stamm- und Blatthaaren der Tradescantia, Ecballium, Urtica, wiegen die waffererfüllten Räume vor. In vielen Süßwafferalgen ift das

[1]) Carl Nägeli, Die Bewegung im Pflanzenreiche. 1860. Leipzig. Engelmann.

Protoplasma in geometriſch ſcharf umſchriebene Schraubenbänder vertheilt. In allen ſolchen herrſcht Bewegung von größerer oder kleinerer Strömungsgeſchwindigkeit.

Bei den Spirogyren und Draparnaldien iſt die Bewegung eine außerordentlich langſame. Die Zähnchen *z z*, Fig. 24 *C*, werden innerhalb einiger Minuten ausgeſandt und wiederum eingezogeh. Der Vorgang wird an einem Ocularmikrometer wahrgenommen.

Das Studium der ſtrömenden Bewegung in Pflanzenzellen ergiebt die folgenden Hauptzüge:

1⁰ Die Strombahn iſt conſtant. Nitella, Chara, Vallisneria, Hydrocharis.

2⁰ Die Strombahn unterliegt ſtetem Wechſel, Tradescantia (Staubfadenhaare[1]), Ecballium, Urtica (Stammhaare). Mixomyceten.

3⁰ Die Strombahn iſt conſtant. Ein centraler Hauptſtrom, welcher durch die große Vacuole der Zelle fließt und ſich in einen oder mehrere wandſtändige Ströme auflöſt. Endoſpermzelle von Ceratophyllum.

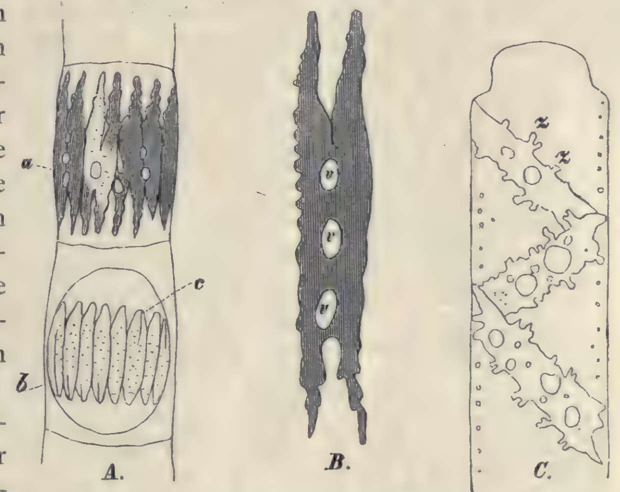


Fig. 24. *A* zwei Gliederzellen der Draparnaldia, *a* vor *b* nach der Behandlung mit verdünntem Glycerin, *c* die contrahirte Hautſchicht, Wandbeleg. *B* zwei Bänder chlorophyllführenden Plasma's, aus *A* ſtark vergrößert, *v v* Vacuolen oder ungefärbte Parthieen des Wandbelegs. *C* Theil einer Zelle der Spirogyra. Ein Schraubenband des chlorophyllführenden Plasma mit beweglichen, ſehr kleinen Vorſprüngen.

Eine allgemeine Beziehung zwiſchen der Vertheilung der wandſtändigen Plasmaſtrömchen und dem ſpäteren Dickenwachsthum der Wand fand Dippel für den Holzkörper der höheren Pflanzen. Er zeigt, daß die Verdickung vorzugsweiſe in dem Stromnetz am ſtärkſten iſt[2]).

Bei den Nitellen und Charen (vorzügliches Studienobject iſt die Keimpflanze der Charen) ſtrömt die ganze Maſſe in der merkwürdigen Weiſe, daß ein Strom auf der einen Seite der cylindriſchen Zelle parallel der Cylinderaxe oder wenig zu ihr geneigt fortſchreitet und in ſich ſelbſt zurückläuft. Die räumliche Vorſtellung dieſes Gegenſtandes iſt nicht ſo ein-

---

[1]) Robert Brown, 1828, hat die Bewegung entdeckt.

[2]) Dippel, Wandſtändige Protoplasmaſtrömchen.

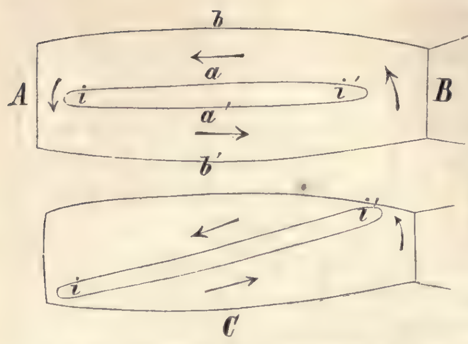


Fig. 25. Schema der Protoplasmaſtrömung in den Charenzellen.

ſach, daß eine graphiſche Darſtellung umgangen werden kann.

Möge zunächſt *A B*, Fig. 25, eine cylindriſche Zelle des Vorkeims der Chara ſein, ſo ſtrömt die ganze Maſſe zwiſchen *a* und *b* reſp. *a'* und *b'* mit den Pfeilen, indem die kleineren Körnchen raſcher, die großen und die ſchweren Amylumkörper langſamer fortgeſchoben werden. *i i'* iſt dann eine neutrale Zone. In ihr herrſcht keine Strömung oder es hebt ſich die Bewegung auf, weil ſie oben nach links, unten nach rechts gehen müßte. An den Enden des Cylinders, an den Querwänden kehrt der Strom um. Denkt man ſich nun denſelben tordirt, ſo wird die Indifferenzzone *i i'* zur Cylinderaxe geneigt, ſo wie die Fig. 25 *C* zeigt, im Uebrigen bleiben die Verhältniſſe ungeändert. Die circulirende Bewegung beſchreibt eine Schraubenlinie mit zwei in den Querwänden belegenen Umkehren, und die Indifferenzzone folgt derſelben Schraubenlinie.

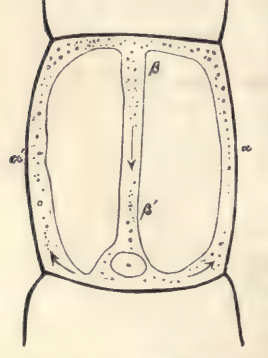


Fig. 26. Schema der Protoplasmaſtrömung in der Endoſpermzelle von Ceratophyllum.

In den wenigen großen Endoſpermzellen von Ceratophyllum, Fig. 26, folgt die Maſſe den Pfeilen, in α α' aber iſt der Strom wandläufig. In β β' geht er durch den waſſergefüllten Zellenhohlraum.

Die veränderlichen Strombahnen werden an den Stamm- und Blatthaaren der Ecballien am beſten ſtudirt. Durch die cylindriſchen Zellen derſelben zieht ſich nach allen möglichen Richtungen von dem jedenfalls continuirlichen Wandbeleg ein Netzwerk hyaliner Fäden, in welchen die Körnchen ſtrömen, während die Fäden fortfließen, bald hie, bald da anſchwellend, zu fortgleitenden und wieder zergehenden Spindeln. In der Figurenreihe, Fig. 27, wurde ein Eck des optiſchen Durchſchnittes eingeſtellt und die Configuration derſelben Ströme im Zeitraum von 30—40 Minuten feſtgehalten. Die Pfeile bedeuten die Stromrichtung. Man erkennt, daß in dem gegebenen Ort ein ſteter Wechſel der Strombahnen, aber auch der örtlichen Anſammlung flüſſiger Maſſe herrſcht. Die Vacuolendurchſchnitte verändern ſich. Da nun der Wandbeleg *a b c* eine continuirliche Schicht bildet, da in ihm ſich örtlich die Maſſe häuft oder vermindert, ſo müſſen die durch den Hohlraum gehenden Strömchen ſtete Verſchiebungen, ſowohl in Richtung der

X-, der *Y*- wie der *Z*-Axe machen, während ſie gleichwohl als Ströme erhalten bleiben. Die *X Y*-Ebene iſt diejenige unſerer Aufnahmen. Ich will ſagen: das Stromſyſtem *1* verändert in den nächſten Minuten nach *2* hin ſeine Configuration, weil es in der feſten Zellhülle *a b* um die Axe *Y* oder um *X* oder *Z* rotirt. Niemals habe ich bei niederer Temperatur ein Abreißen eines der Strömchen bemerkt. Die Vacuolendurchſchnitte *v v' v''* von *4* nach *5* und *6* werden verändert dadurch, daß die ſie umgrenzenden Ströme ſich nähern, bis *v v' v''* im Zuſtand *6* der Fig. 27 verſchwinden, ſo daß die ſie trennenden Ströme ineinanderfließen.

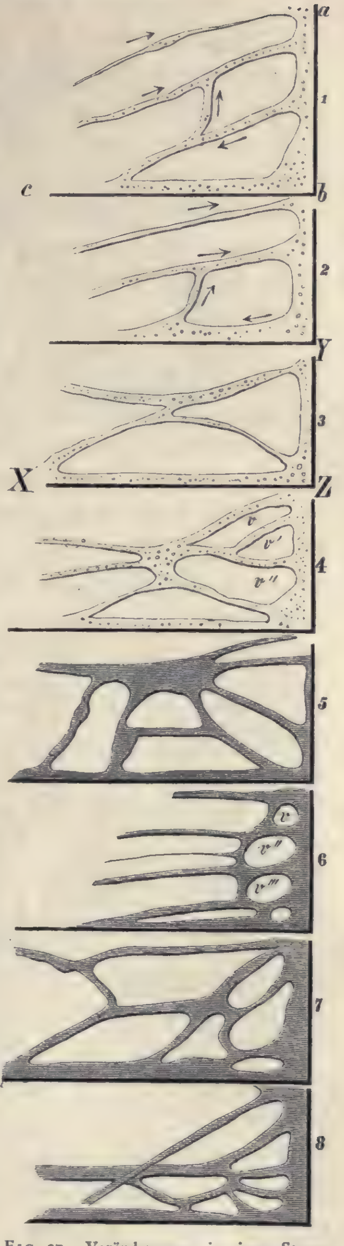


FIG. 27. Veränderungen in einem Stromſyſtem von Protoplasma im Haare von Ecballium im Zeitraum von 30—40 Minuten bei einer Temperatur von 18° C. und einer mittleren Einſtellung der Zelle, welche um weniger wie ¼ Schraubenumgang ſchwankt. *a b c* der optiſche Durchſchnitt zweier Zellwände, *a b* Quer-, *b c* Längswand. Man beobachtet niemals, daß ein noch ſo dünner Faden abreißt.

2. Temperatur.

Die Strömungsgeſchwindigkeit iſt abhängig von der Temperatur, ſie wird ſehr klein in der Nähe des Nullpunkts der 100theiligen Scala. Das Protoplasma erträgt nicht über 55° C. für längere Zeit (½ Stunde). Innerhalb der niederſten und der höchſten Temperatur beſchleunigt ſich die Bewegung bei allmäliger Steigerung der Temperatur bis zu einem beſtimmten Grade. In Hinſicht der Empfindlichkeit gegen Temperaturſchwankungen verhalten ſich ſelbſtredend verſchiedene Pflanzen verſchieden. Auch die Plasmodien der Mixomyceten ſelbſt zeigen hierin dasſelbe. So iſt dasjenige von Aethalium ſepticum gegen Temperaturſchwankungen empfindlicher wie dasjenige von Stemonites fusca.

Plötzliche Schwankungen der Temperatur ſelbſt innerhalb der Grenzen, in welchen noch Strömung möglich iſt, ſiſtiren die Bewegung vorübergehend.

3. Athmung.

Für eine jede Bewegung, welche, wie die Strömung des Protoplasma, ſtetig durch unendlich große Zeiträume vor ſich geht, muß

die Urſache eben ſo ſtetig ſein. Die Temperatur der Umgebung, ſowie die molecularen Vorgänge der Ernährung: Zufuhr von Waſſer und feſten Bauſtoffen, welche im Waſſer gelöſt ſind, ſind zwar ſtetige Bedingungen, nicht aber Urſachen der vorliegenden Bewegung. Als eine ſtete Urſache muß die Verbrennung angeſehen werden, welche fortwährend einen Theil der Kohlehydrate des Protoplasma in Kohlenſäure und Waſſer verwandelt. Dieſer Vorgang der Athmung vollzieht ſich in jedem Orte, in jedem kleinen Raumelement. Mit jedem Molecul verbrennlichen Kohlenſtoffes, welches von Secunde zu Secunde aus dem Syſtem verſchwindet und als Gas in Form von Kohlenſäure ausgehaucht oder im Waſſer gelöſt wird, vollzieht ſich eine locale Störung des vorherrſchenden Zuſtandes in der molecularen Anordnung, welche die Bewegung der ſichtbaren Theilchen zur Folge haben muß. Die ſichtbare Strömung wird ſiſtirt in ſauerſtofffreier Luft und im Vacuum. Gleichwohl kommt es niemals im lebenden Protoplasma zur Ausſcheidung von Gasbläschen. Auch in der lebenden Pflanzenzelle fehlt die Anhäufung der Gaſe in Blaſen, das Auftreten von Gasblaſen iſt ein Symptom des Todes[1]).

4. Physikalische Eigenschaft (Chemische Constitution).

Die bisher geſchilderten Bewegungen: die Vermittlung alles Lebens während unendlicher Zeiträume durch verſchwindend kleine Protoplasmamaſſen, die ſichtbare Erſcheinung der Strömung und die Vorgänge des Wachſens, welche eine verwickelte Kette von chemiſchen und mechaniſchen Umlagerungen in dem Protoplasma einſchließen, zwingen zu der Vorſtellung, daß hier von einer für längere Zeit ſtabilen Conſtitution in mechaniſchem oder chemiſchem Sinne nicht die Rede ſein kann. Steter Wechſel in den ſichtbaren Theilen und in den Moleculen iſt eben das Leben. Chemiſche Analyſen können hier nur grobe Verhältniſſe jener Beziehungen aufklären. Zuſtandsänderungen phyſikaliſcher Bedingungen, wie ſie uns bis jetzt zu Gebote ſtehen, werden ebenfalls uns dem Weſen der Bewegung nur wenig nähern.

In dem Protoplasma der lebenden, wachſenden Zelle müſſen vorkommen und können zum Theil nachgewieſen werden:

1⁰ Kohlehydrate: Zucker, Amylum, Inulin.
2⁰ Oele, Fette, ätheriſche Oele.
3⁰ Säuren der Fettſäurereihe: Ameiſen-, Propion-, Eſſigſäure.
4⁰ Oxal-, Trauben-, Wein-, Citronenſäure und deren Salze.

---

[1]) In dem Holzkörper der perennirenden Pflanzen finden ſich Gasblaſen, von der Zellflüſſigkeit umſchloſſen, auch in ſolchen Zellen, in welchen noch Translocation für Amylum herrſcht; dort aber iſt das Leben des Protoplasmakörpers, welcher die Holzzelle bildete, erloſchen.

5⁰ Eiweiß und andere Proteïnkörper.
6⁰ Harze: Gummiharz, wechſelnde Gemenge von Harz, Schleim, Cautchouc.
7⁰ Organiſche Salze.
8⁰ Anorganiſche Salze.

Das ſpecifiſche Gewicht der Protoplasmamaſſe ſchwankt. Es kann größer oder kleiner wie dasjenige des Waſſers ſein, je nach dem Verhältniß, in welchem ſpecifiſch leichtere Flüſſigkeiten in ihm vorkommen.

Die Geſammtmaſſe muß vorübergehend in kürzeſter Zeit in einen und denſelben feſten Körper verwandelt werden (die Celluloſe), ſo daß der wägbare Theil des Rückſtandes, verſchwindend klein, nur die Rolle eines Fermentes ſpielt, welches von neuem gelöſte Maſſe nach derſelben Richtung hin umſetzt.

A. Verhalten zu Wasser.

Das Protoplasma der an das Salzwaſſer adaptirten Gewächſe, namentlich der Algen, beſitzt ein höheres osmotiſches Aequivalent. Süßes Waſſer wird nicht ertragen. Ja bei einigen Florideen knattern die Pflänzchen, wenn ſie ſoeben in Süßwaſſer gelegt werden. Die Membranen werden durch übergroße Waſſeraufnahme geſpannt und ſchließlich zerſprengt. Umgekehrt erträgt das Protoplasma der an das Süßwaſſer adaptirten nicht den Salzgehalt des Meeres.

Die Vacuole iſt ein waſſerreicherer Ort im Innern der Grundſubſtanz, bei der Bewegung der Amöben, Fig. 9 *v v'*, ſteten Veränderungen unterworfen. Die Vacuole wächſt innerhalb weniger Secunden, indem die in ihr gelöſten Körper Waſſer anziehen. Sie verſchwindet, wenn die osmotiſche Spannung der angrenzenden Maſſe zunimmt. Der waſſererfüllte Raum überwiegt und die Plasmamaſſe wird zum Wandbeleg. Bei iſodiametriſchen Zellen entſteht ſo eine einzige, den größten Theil der Zelle ausfüllende Vacuole, bei geſtreckten befinden ſich zahlreiche, welche in mannigfacher Weiſe gruppirt ſind.

In manchen Zellen, ſo bei Cloſterium und in den Schwärmzellen von Chlamidomonas, befinden ſich pulſirende Vacuolen, *v v'* Fig. 28; wächſt *v*, ſo ſinkt *v'*, erreicht ein Minimum, wächſt wieder, während *v* ſich verkleinert. Die Configuration des Vacuolenſyſtems iſt abhängig von derjenigen des Stromſyſtems in den Haaren der Tradescantia, von Ecballium (m. ſ. Fig. 27) und vielen anderen.

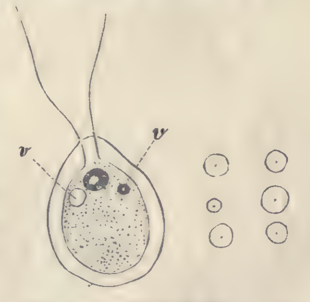


Fig. 28. Vacuolenrhythmus von Chlamidomonas. Die linke Vacuole *v* erreicht ſoeben das Maximum ihrer Ausdehnung, die rechte iſt dem Verſchwinden nahe.

Das osmotiſche Aequivalent[1]) muß ſomit in jedem kleinen Raumtheil einer gegebenen Protoplasmamaſſe ſchwanken, ſo wie es von Zelle zu Zelle an einer gegebenen Pflanze veränderlich iſt.

Künſtliche Zufuhr von reinem Waſſer zu lebendem, aber vacuolenarmem Protoplasma bewirkt inſtantan das Auftreten von Vacuolen, namentlich dann, wenn die Zellwand durch einen Nadelſtich geöffnet iſt, ſo daß die Volumvermehrung den Druck der Membran nicht zurückzuſchieben hat. Fig. 29. Ohne dies verläuft die Erſcheinung träger. Vacuolenreiche Plasmamaſſen der Mixomyceten, der Spirogyren, der Haarzellen werden nicht in dieſem Sinne verändert.



Fig. 29. Cloſterium Lunula. Nach dem Oeffnen der Membran quillt die Protoplasmamaſſe mit wolkigen Vacuolen auf, *v v'* die vor der Verletzung im Ende der Zelle vorhandene Vacuole mit den kleinen Kryſtallkörperchen. Die ganze ausfließende Maſſe wird durch Vacuolen ſchaumig.

Verdünnte Zucker-, Glycerin-, Salzlöſung verkleinern die Vacuolen der Pflanzenzelle durch Waſſerentziehung. Der Wandbeleg zieht ſich zurück mit oder ohne Zerſtörung der feineren Structurverhältniſſe, Fig. 30, 31. Hie und da haftet die Maſſe in einzelnen Punkten, dauernder in *α α'*. Wiederzufuhr von Waſſer ſtellt den Anfangszuſtand wieder her. Concentrirte Löſungen bringen den Inhalt dauernd zum Schrumpfen und tödten das Plasma. Eine Scala von gradweiſe concentrirten Löſungen eines und desſelben Salzes von bekanntem osmotiſchem Verhalten iſt geeignet, das osmotiſche Aequivalent einer gegebenen Pflanzenzelle näherungsweiſe aus dem Schrumpfen des Wandbelegs zu beſtimmen[2]).

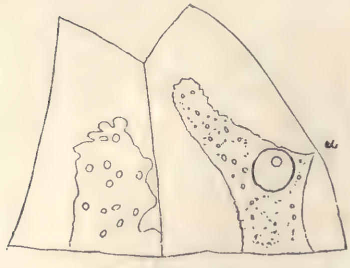


Fig. 30. Allium Cepa. Protoplasmamaſſe, geſchrumpft in den Parenchymzellen der Niederblätter. *α* Zellenkern.

Die Figur 31 zeigt außer jener Contraction ein weiteres Verhalten der geformten Plasmafäden gegenüber äußeren Eingriffen. Die chlorophyllführenden dichteren Bänder ſind nicht in ihrer gegenſeitigen Lage durch die Compreſſion ge-

[1]) Das osmotiſche Aequivalent iſt die Waſſermenge, welche durch eine gegebene Haut oder in unſerem Falle durch eine Hautſchicht von Protoplasma im Austauſch gegen die Gewichtseinheit eines gelöſten Körpers diffundirt.

[2]) N. J. C. Müller, Pringsheim's Jahrb. Bd. VIII. S. 80.

ſtört. Sie ſetzen in $\alpha\, \alpha'$ der Compreſſion einen größeren Widerſtand entgegen. Ein Pilzparaſit iſt in die Zelle eingedrungen. Der Verlauf ſeines Myceliums iſt nicht regellos, ſondern es folgen die Mycelfäden den Schraubenlinien der Chlorophyllbänder *c c*, Fig. 31.

Die Protoplasmamaſſe ſchrumpft, weil ſie für Waſſer nach der Richtung der waſſerentziehenden Löſung durchläſſiger iſt, wie für die Theile der Löſung, welche in entgegengeſetzter Richtung den Wandbeleg durchdringen müſſen, um den Volumverluſt zu decken. Nennen wir v das Volum der Zelle, v' das Volum der nicht contrahirten Plasmamaſſe, v'' dasjenige der zugefügten Löſung, ſo hat ſich die Summe $v + v' + v''$ nicht geändert, nachdem die Contraction erfolgt, v aber und v' ſind kleiner, v'' größer geworden, und es ſind nun drei optiſch differente Räume entſtanden, es iſt der Raum $v\, v'\, v''$, Fig. 31, hinzugekommen, welcher eine verdünntere Löſung, wie die urſprünglich zugeſetzte enthält.

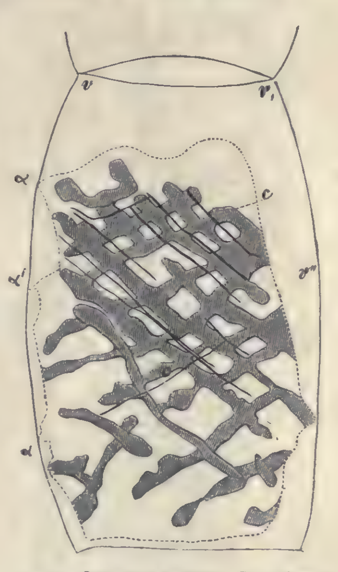


Fig. 31. Spirogyra maxima. Das Plasma des Wandbelegs in verdünnter Zuckerlöſung contrahirt. $\alpha\, \alpha'$ Haftſtellen an der Wand, *c c* ein Pilzmycelium.

B. Streifen und Schichten.

Bei einigen Protoplasmakörpern differenzirt ſich die Maſſe in ähnliche Streifen und Schichten von verſchiedenem Lichtbrechungsvermögen, wie die ſpäter zu behandelnde Zellmembran. Die Chlorophyllkörper von Funaria und einigen Meeresalgen, ſ. Fig. 32, ſind kreuzweiſe zerklüftet in waſſerreichere und waſſerärmere Schalen, die als Streifenſyſteme den Plasmakörper durchſetzen.

5. Lage abhängig vom Licht.

Die Chlorophyllkörper führen in dem Wandbeleg der höheren Pflanzenzelle, ſo in den Blattzellen der Mooſe, den Prothallien der Farren u. a. m. langſame Wanderungen aus, deren Richtung von der Beſtrahlung abhängig iſt.



Fig. 32. Bryopſis plumoſa. Chlorophyllkörper mit Areolen verſchiedenen Waſſergehaltes (nach Rosanoff).

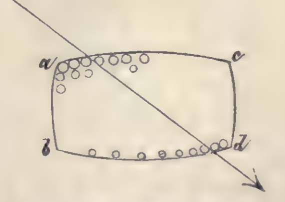


Fig. 33. Lage der Chlorophyllkörper zu dem Lichtſtrahl in einer Prothalliumzelle der Farren, es iſt die Apoſtrophe.

In einer Zelle, welche in den Flächen *a b c d* von anderen Zellen begrenzt, in

¹) Rosanoff, ſ. Hofm., Phyſ. d. Zelle. S. 369.

der Fläche *a c* aber frei ist, häuft sich die Chlorophyllmasse entweder in die Fläche *a b*, die Epistrophe (s. FRANK a. a. O. S. 291), oder es breitet sich an der freien Fläche *a c* aus, Fig. 33, die Apostrophe, nach FRANK. Im jugendlichen Zustand der Zelle herrscht im Allgemeinen eine indifferente Vertheilung, sodann stellt sich die Epistrophe, im Alter die Apostrophe her. Aus diesen Anordnungen darf man mit FRANK auf gewisse Zustandsänderungen im Innern des Plasmakörpers schließen, welche vom Alter der Zelle abhängig sind. BÖHM zeigte nun zuerst, daß die Chlorophyllkörper sich zu Gruppen zusammenziehen, wenn das Blatt bestrahlt wird. Nach FAMINTZIN sammeln sich dieselben auf den freien Flächen bei der Bestrahlung, sie ziehen sich nach den Verwachsungsflächen im Dunkeln.

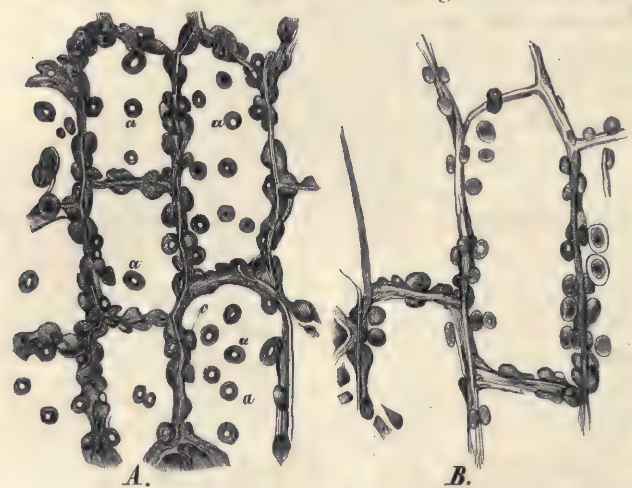


FIG. 34. Funaria hygrometrica. Chlorophyllkörner in den Zellen des Blattes. Bei *a* ist ein Korn so eingestellt, daß sein Brennpunkt auf die photographische Platte fiel. Die randständigen Körner wie *c* aber sind mit parallelen Strahlen auf der Platte zum Ausdruck gekommen.

Die Lage der Chlorophyllkörper in verschiedenen Zuständen der Blätter ist in Fig. 34 demonstrirt. In *A* sind alle randständig, in *B* ist ein Theil flächenständig, ein anderer und der größere Theil wie in *A*.

Bei diesem Object, welches der Xylograph mit der größten Treue von dem Photogramm auf den Holzstock übertrug, wolle man beachten, daß die Zellenfläche *B* auf den optischen Durchschnitt der zur Linie verkürzten Wände eingestellt war. Die Lichtstrahlen, welche bei der Herstellung des Negativs durch das Object nach der Jodsilberplatte in der Richtung von dem Bild nach dem Beschauer gingen, wurden in der hinteren, dem Beschauer abgewandten Fläche von dem Chlorophyllkorn convergent gemacht und entwarfen ein ganz kleines, deutliches Sonnenbildchen auf die empfindliche Platte in *a a'* u. s. f.

Die Chlorophyllkörner haben das Vermögen, sich selbständig zu bewegen, wenn schon diese Bewegung kleiner ist, wie die Ortsveränderung im constanten Strom der Gesammtmasse des Protoplasma[1]). Außerdem aber werden sie in den Strombahnen der farblosen Protoplasmastränge fortbewegt, so bei Vallisneria.

[1]) VELTEN, *Activ. ad Passiv.* Oesterr. bot. Ztschr. 1876, Nr. 3.

6. Einfluss des elektrischen Stromes und der Entladung[1]).

Schwache Inductionsschläge bewirken in dem Stromsystem des Protoplasma im Beginne eine Beschleunigung der Strömung, nach längerer Dauer eine Contraction des Wandbeleges, und zuletzt zerklüftet sich derselbe in mehrere geschlossene Blasen, in welchen die Strömung noch in dem Sinne fortherrscht, welcher aus der Richtung des Gesammtstromes gefordert wird. Fig. 35 veranschaulicht diese Umwandlung. Sie gilt für die Wurzelhaare der Hydrocharis morsus ranae.

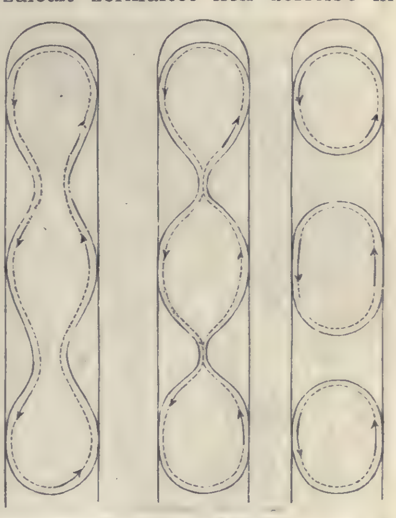


Fig. 35. Hydrocharis morsus ranae. Andauernde Inductionsschläge zerklüften den Wandbeleg in dieser Weise, so daß zuletzt mehrere Sphäroide entstehen, in welchen die Strömung im Sinne der Pfeile fortdauert.

Nach den Publicationen Velten's bedient man sich, um die hier einschlägigen Phänomene zu studiren, am besten der durch Fig. 36 veranschaulichten Vorrichtung.

Sowohl der constante Strom, wie die Inductionsströme und die Reibungselektricität der Holtz'schen Maschine bewirken eine Beschleunigung der Strömung oder mindestens eine Lagenänderung der geformten Protoplasmakörper.

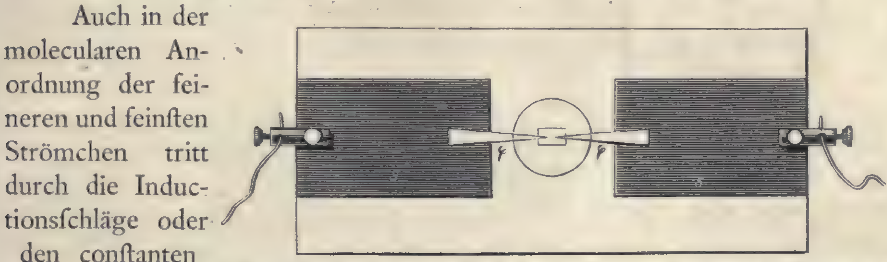


Fig. 36. Elektrischer Objectträger. φ φ die Elektroden, welche mit dem Object in Berührung stehen, s s zwei Stanniolplatten mit je einer Klemmschraube für die Leitungsdrähte (nach Velten).

Auch in der molecularen Anordnung der feineren und feinsten Strömchen tritt durch die Inductionsschläge oder den constanten Strom eine Aenderung auf. Es werden Vacuolen gebildet. Die Stränge werden wasserreicher (Bildung von Insuccationskanälen. Velten[2]), Einwirkung

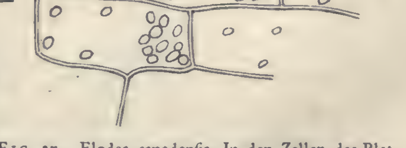


Fig. 37. Elodea canadensis. In den Zellen des Blattes haben sich die festen Körper (Stärke) im Sinne des negativen Stromes an einer Querwand angehäuft bei α.

[1]) Vorrichtungen für Elektricität. Dippel, Mikroskop. — Nägeli & Schwendener, Das Mikroskop. 457.

[2]) Velten, Einwirkung strömender Elektricität u. s. f. Sitzgsber. d. Acad. d. Wissensch. Wien. Aprilheft 1876.

ſtrömender Electricität a. a. O.). Dauernde Reizung bringt die Protoplasmamaſſe in den zähflüſſigen Zuſtand. Feſte Partikel, welche vorher nicht in Bewegung ſind, werden durch den elektriſchen Strom in ähnliche Rotation verſetzt, wie ſie ſonſt in den normalen Verhältniſſen beobachtet wird.



Fig. 38. Cucurbita Pepo, Protoplasma der Haarzellen. *a* engmaſchiges Stromnetz. *b* dicker Stromfaden neben einem feineren. *c* Vacuolenbildung nach elektriſcher Reizung. *d* Anſchwellung der Infuccationskanälchen durch die elektriſche Reizung.

Das Fortführen kleiner Körper, welche, in einer Flüſſigkeit vertheilt, ſuspendirt ſind, durch den elektriſchen Strom iſt bekannt[1]). Alle jene elektriſchen Ströme, welche künſtlich auf die Pflanzenzelle angewendet werden, ſind außerordentlich intenſiv, bezogen auf den

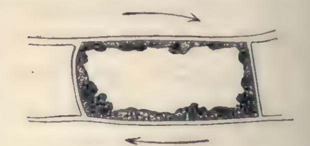


Fig. 39. Epidermiszelle von Vallisneria. Die Strömung geht mit den Pfeilen.

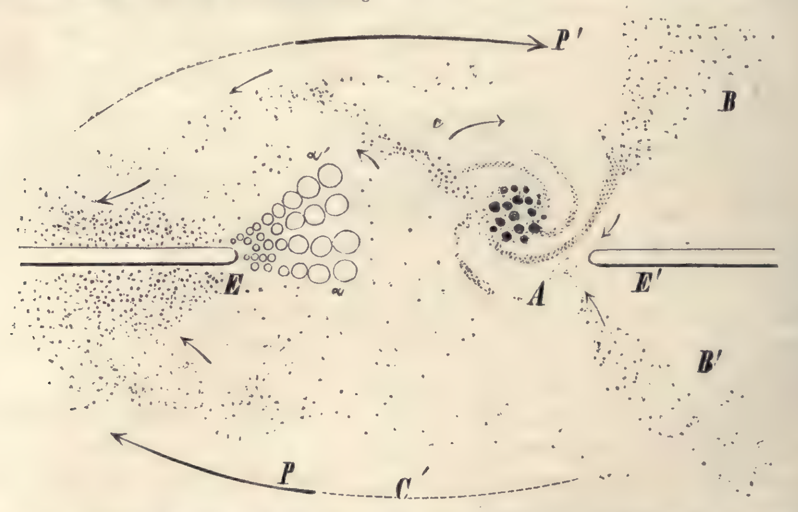


Fig. 40. Carminpartikel in Gummilöſung bei 80/1 Vergrößerung unter dem Mikroſkop, während ein Inductionsſtrom von der Elektrode *E* nach *E'* überſpringt. α α' Waſſerſtoffbläschen von mikroſkopiſcher Ausdehnung. *A* ein Strudel von Carmintheilchen in raſcher Rotation. *B B'* Carminſtrom nach der Elektrode *E'*. *C'* zwei große Carminſtröme nach der Elektrode *E*. Der Carmin bewegt ſich mit dem Pfeile *P*, das Waſſer mit dem Pfeile *P'*.

[1]) Aber wahrſcheinlich nur eine Folge der Diffuſionsſtrömung, welche in der Nähe der Elektroden anderweit erregt wird.

elektriſchen Strom, welcher etwa in der Zelle ſelbſt herrſcht und Urſache der Protoplasmaſtrömung ſein könnte. Die Experimente über dieſen Gegenſtand haben daher die Theorie der Protoplasmabewegung wenig gefördert. Alle Einwirkung der conſtanten Ströme bewirkt in einem gegebenen Zellencomplexe:

1⁰ eine elektriſche Diffuſion,

2⁰ eine Ortsbewegung nicht gelöſter kleiner Partikel,

3⁰ eine Veränderung der chemiſchen Conſtitution, welche mit ſo großer Intenſität herrſcht, wie ſie im normalen Leben der Pflanze niemals vorkommen kann.

Strömende Bewegung kleiner Carmintheile, welche in Gummilöſung ſuspendirt ſind, wird erhalten, wenn ſchwache Inductionsſchläge von ganz dünnen Platinelektroden *E E'*, Fig. 40, durch die Flüſſigkeit geſandt werden. An der einen Elektrode ſtrömen mikroſkopiſch kleine Waſſerſtoffbläschen ab, *α α'*, an der anderen, *E E'*, gerathen die Theilchen durch die Entladung in wirbelnde Bewegung und insgeſammt entſteht eine Strömung, welche die Carminpartikel mit den Pfeilen fortführt. Eine auffällige Ablagerung derſelben findet an der Elektrode *E* ſtatt.

Schwächt man den Strom allmälig, bis die Waſſerzerſetzung ſelbſt mit dem Mikroſkop an den Elektroden nicht mehr wahrnehmbar wird, ſo hört auch die Strömung, ſowie die Strudelbewegung der Partikel auf. Von Intereſſe iſt die Thatſache, daß in geſchloſſenen Pflanzenzellen, ſelbſt wenn man dieſelben Electroden bei gleicher Stromſtärke mit der Membran in Berührung bringt, eine Gasentbindung im Innern der Zelle nicht ſtattfindet.

7. Zur Theorie der Bewegung.

Aus den Schilderungen unter S. 13 ff. geht zur Genüge hervor, daß mindeſtens, ganz entſprechend dem Reichthum in den höheren feſten Pflanzenformen, die Bewegungsarten flüſſiger Protoplasmamaſſen außerordentlich mannichfaltig ſind. Was will oder wollte man nun erklären? Was kann in der ganzen Reihe von hier einſchlägigen Erſcheinungen überhaupt erklärt werden? Die weſentliche Vorausſetzung, welche für die Erklärung der Bewegungserſcheinung gemacht wurde, iſt folgende:

1⁰ Die moleculare Anordnung im flüſſigen lebenden Protoplasma muß weſentlich verſchieden ſein von der einer todten Flüſſigkeit. Das Protoplasma iſt dem entſprechend den hydroſtatiſchen Geſetzen nicht in der Weiſe unterworfen wie Waſſer.

Dieß aber iſt offenbar ſelbſt eine Folgerung aus der Wahrnehmung aller der Lebenserſcheinungen, die mikroſkopiſch ſtudirt waren, nämlich:

a) Das lebende Protoplasma verbrennt ſtetig und an der ganzen Oberfläche einen Theil ſeiner Kohlenſtoffverbindungen, es erhält dadurch

einen kleinen Zuwachs an Eigenwärme, welcher wie in einer Maſchine in Bewegung der einzelnen Maſchinentheile umgeſetzt werden kann.

b) Es ändert durch die Verbrennung ſtetig den Zuſtand der Löſung oder der Miſchung.

c) Aus dem Verſchwinden, Wiederauftreten, Verſchwinden und der damit verbundenen Ortsveränderung der Vacuolen geht hervor, daß es ſtetig ſeine osmotiſche Capacität in kleinen Orten verändern kann. (Veränderung der Imbibition nach HOFMEISTER.) Ob dieſe letzteren Vorgänge nicht Folgen der molecularen Verſchiebung ſind, wie ſie die Athmung nothwendigerweiſe bewirken muß, kann nicht unterſucht werden.

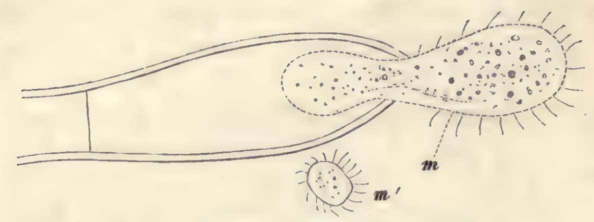


FIG. 41. Austretende Zooſpore der Vaucherien.

d) Die lebende Plasmamaſſe unterliegt ſtetem Wechſel ihrer Miſchung dadurch, daß ſie die umgebende Zellhaut wachſen macht.

Nennen wir dieſe unter *a b c d* genannten Momente die Urſachen der ſichtbaren Bewegung, ſo können wir als äußere Bedingung derſelben nennen: die Temperatur der Umgebung und die Gegenwart von Waſſer oder allgemein einer nicht ſchädlichen, ſehr verdünnten Löſung. Erhöhung der Temperatur beſchleunigt die Bewegung, weil die Reibungswiderſtände wie bei allen capillaren Strömungen kleiner werden. Bei einem beſtimmten niederen, wie bei einem beſtimmten höchſten Temperaturgrad tritt vorübergehende, oder wenn bei dem höheren der Tod erfolgt, dauernde Starre ein.

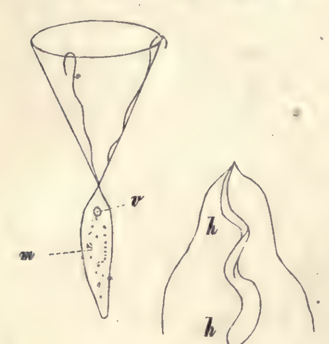


FIG. 42. Euglena viridis. Moos-Spermatozoïd.

In ähnlichem Sinne verhalten ſich Waſſer-Zufuhr und -Verluſt als Bedingungen, welche beſchleunigend oder verzögernd wirken können.

Die ſichtbare Bewegung iſt, wenn wir noch die Schwärmſporen und Spermatozoïden in die Betrachtung hereinziehen, ſo außerordentlich complicirt, daß unmöglich auf Grund der bisher gewonnenen Kenntniſſe eine Theorie in mechaniſchem Sinne gegründet werden kann.

Die Schwärmſpore der Vaucherien bewegt ſich, nachdem ſie frei geworden, Fig. 41, durch die flimmernde Bewegung ihrer Protoplasmacilien in flachen Schrauben und Zickzacklinien. Die Euglena, Fig. 42, bewegt ſich, indem ihre beiden Cilien die Bahn eines Kegels beſchreiben, deſſen

Axe die Verlängerung der ſpindelförmigen Maſſe darſtellt. Das Spermatozoïd der Mooſe bewegt ſich durch ähnliche rotirende Peitſchung durch zwei Cilien, welche ſich um die korkzieherförmige Plasmamaſſe *h*, Fig. 42, drehen. Daß die Locomotion auf der Bewegung der Cilien beruht, ſo daß die große Maſſe *m* nur fortgerudert wird, zeigte Hofmeister aus Beobachtungen an der Vaucheria. Wird die Schwärmſpore durch Zerreißen in zwei ungleiche Theile *m* und *m'*, Fig. 41, zerlegt, wie dieß durch Zufall entſtehen kann, ſo beſitzt die kleinere Kugel für dieſelbe Maſſeneinheit häufig eine größere Anzahl von randſtändigen Cilien, wie die große. Ihre Bewegung iſt alsdann ſichtlich größer, wie die des großen Bruchſtückes.

Die Bewegungen eines ſichtbaren Körperchens in der Körnerſubſtanz

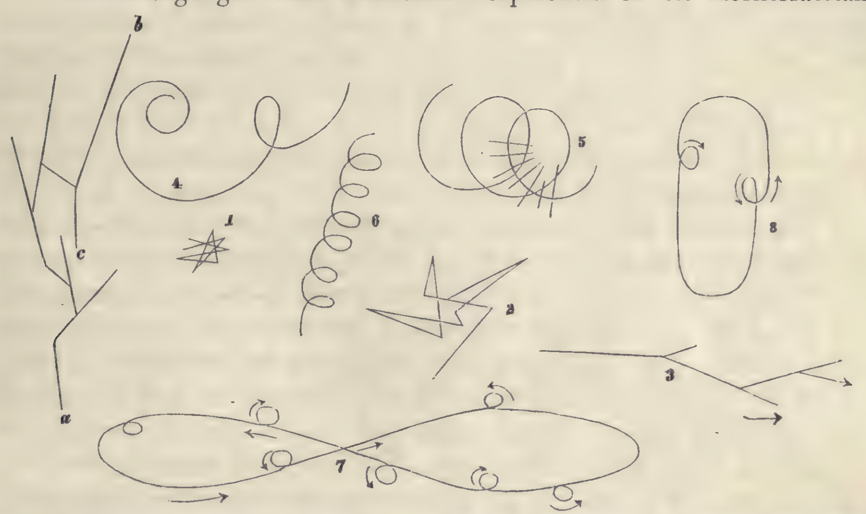


Fig. 43. *1* Molecularbewegung. *2* Amöbe. *3* Amœba princeps. *4* Schwärmſpore. *5* Spermatozoïd der Mooſe. *6* beſchalte Monothalamie. *7* Strömung in der Charenzelle. *8* Endoſpermzelle von Ceratophyllum.

oder eines gegebenen Punktes in der Cilie der ſchwärmenden Plasmamaſſen ſind entweder undulatoriſche, wie die ſogenannte Molecularbewegung Brown's, Fig. 43, *1*, ſie ſind vor- und rückſchreitende, wie in den Amöben, Fig. 2, oder ſie ſind vor-, rück- und wiederum vorſchreitend, wie bei der Amœba princeps, wo trotz ſolcher Schwankungen die conſtante Richtung des Pfeiles (der Figur *3*) eingehalten wird. Ein Theilchen kann eine geſchloſſene Bahn wie *8*, ſo in Ceratophyllum-Endoſpermzellen, oder wie in den Stammzellen der Charen 7 beſchreiben. Es kann dabei rotiren oder eine beliebige Anzahl von Kreisbewegungen (Pfeile 7 und *8*) beſchreiben. Es kann in größeren Klumpen fortgleiten und wieder aus dieſen frei werden. Die Bahn kann vor- und rückläufig, ſeitenläufig und wieder vorläufig ſein, wie bei den Mixomyceten Fig. 45, ſo daß *a* die Anfangs-, *c* oder *b* die

Endlagen ſein mögen. Endlich kann es ſchwingen in einem Stab wie eine elaſtiſche Saite, ſo in den Cilien der Schwärmer.

In Verband mit der Maſſe der ſchwärmenden Spore kann das Theilchen die Bahn *4*, *5*, *6* beſchreiben, welche nicht in der einzigen Ebene der Zeichnung zu liegen brauchen. Wie ſollen alle dieſe Bewegungen unter eine gemeinſame mechaniſche Urſache gebracht werden können?

Zwei Theorieen wurden bis jetzt aufgeſtellt über die ſtrömende Bewegung der Plasmodien und Plasmafäden im Innern der Haarzellen.

Die Thierphyſiologen ſtellen ſich die hyaline Grundſubſtanz als eine contractile, muskelähnliche Maſſe vor, durch deren Zuſammenziehung und Ausdehnung die Körnerſubſtanz, ſowie die anderweit ſuspendirten Partikel fortrücken[1]). Ausdrücklich wird dort gegen das Fließen Verwahrung eingelegt. Nach dieſer Auffaſſung wird die Urſache der Veränderlichkeit der Contractilität, welche gefordert iſt durch die Erſcheinung in der Figur 43 und den folgenden, gar nicht aufgeſucht. Die Theorie iſt nicht eine mechaniſche.

Hofmeister[2]) nähert ſich dieſer Aufgabe ſchon viel mehr. Er will das Fließen erklären. Nach der Auffaſſung der Pflanzenphyſiologen, welche dem Gegenſtande größeren Ernſt zugewandt, handelt es ſich bei allem pflanzlichen Protoplasma jedenfalls um einen zähflüſſigen Körper, welcher gleichwohl in ſtabileren Formen, wie Spermatozoïden und Schwärmſporen ſind, ſcharf umſchrieben oder aber in ſtets veränderlichen, capillaren Stromnetzen vertheilt ſein kann. Die Veränderung der Form führt Hofmeister auf den Wechſel der Imbibition mit Waſſer zurück. So wie die ſichtbare Vacuolenbildung ſtetem Wechſel unterliegt, ſo daß, geſetzmäßig localiſirt, Waſſer hier ausgeſchieden, dort imbibirt, wiederum vertheilt wird, wie bei den pulſirenden Vacuolen, ſo ſoll ein ähnlicher Wechſel auch in den kleinſten Theilchen herrſchen. Indem dieſe Anſchauung auf eine Kette von Moleculen übertragen wird, Fig. 44, erhält man eine Annäherung der feſten Theile, wenn die Waſſerhüllen in gegebener Richtung von Molecul zu Molecul kleiner werden, wie dieß die Fig. 44 erläutern mag. In der Kette *I* möge *a* der feſte Subſtanzkern, *b* die Waſſerhülle bedeuten; ſind alle gleich, ſo herrſcht Ruhe, wächſt aber in dem Molecul *1* die Imbibition, ſo nähert ſich das Molecul *3* dem Molecul *2* u. ſ. f.

In der Richtung des Pfeiles wandern die Waſſertheilchen wie die Subſtanzkerne. Offenbar iſt es auch möglich, die Waſſerhülle in dem einen, die Subſtanzkerne in dem anderen Sinne wandern zu laſſen. In einer un-

---

[1]) M. Schultze, Das Protoplasma. W. Engelmann. Leipzig. 1863. S. 53.

[2]) Handbuch der phyſiolog. Botanik. Phyſiologie der Pflanzenzelle. S. 64. Leipzig. W. Engelmann.

endlichen Kette von Moleculen dieſer Beſchaffenheit wird wohl durch dieſen Vorgang eine oscillatoriſche Bewegung der Theilchen möglich, nicht aber die ſtete Strömung erklärt. Die ſichtbare Strömung wird ſicherlich unter einfacheren Hypotheſen erklärt werden können, ſo daß ſolche über die moleculare Anordnung zunächſt überflüſſig ſind, um die ſtrömende Bewegung zu verſtehen.

a) Bei den freien Protoplasmamaſſen der Mixomyceten beobachtet man ſtets, daß die Strömung der Körnchen in der Grundſubſtanz von dem Ziel rückwärts um ſich greift. Dieß iſt aber eine nothwendige Folge des Vorrückens der Grundſubſtanz. Wenn *a*, Fig. 45, eine kleine, ſcharf begrenzte Parthie eines ſolchen Plasmodiums iſt und *b* die erſte Phaſe der zu beobachtenden Bewegung, *c* die zweite, ſo wird zunächſt die Maſſe *a a'* fortgeſchoben und es werden die ſichtbaren Körnchen nothwendigerweiſe in der Reihenfolge *0*, *1*, *2* u. ſ. f. in *c* ſtrömen, ſich in *d* zu einem Reſervoir anſammeln, bis in *d* möglicherweiſe genau dieſelbe Configuration aller einzelnen Theile hergeſtellt iſt, wie in *a*. Der Körper hat ſich aber um eine gegebene Strecke fortbewegt. Dieſe Veränderung in der Lage iſt ſtetem Wechſel unterworfen, und wenn dem unbefangen Urtheilenden geſagt wird, die ſo wahrgenommene Bewegung vollziehe ſich an einer zähen Flüſſigkeit, ſo wird er ſagen müſſen: in dem Gebilde *a*, Fig. 45, herrſcht ein Druck auf die periphere zähere Wandſchicht, dieſer treibt in *a'* eine Ausſtülpung, in welcher die feſteren Körnchen fließen. Später kann vielleicht einmal in *a* oder in *f* oder in *g* eine ſolche dehnbare Stelle ſich bilden. Die raſche Verſchiebung *a* bis *g* läßt gleichwohl keinen anderen Aggregatzuſtand zu, wie den flüſſigen.

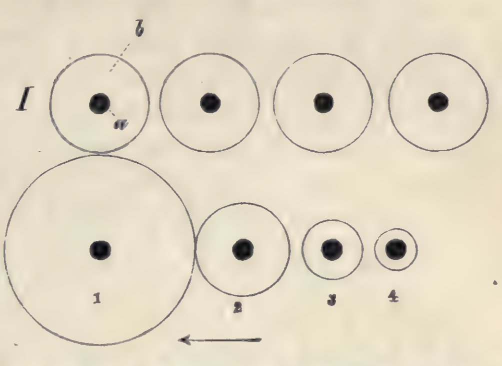


Fig. 44. Schema des Fortrückens der feſten Subſtanzkerne durch Aenderung der Waſſerhüllen.



Fig. 45. Schema der Protoplasmabewegung.

Die dentritiſche Strombahn mit faſt allen Einzelnheiten der Configuration, wie ſie in den früheren Figuren zum Ausdruck kam, wird eingehalten, wenn man einen zähflüſſigen Harzlack, in welchem feine Bleiweiß-

partikel ſuspendirt ſind, in Glycerin fließen läßt, Fig. 46. Dort finden ſich alsdann Glycerin-Vacuolen *v v'*, es finden ſich ſpindelförmige Anhäufungen, durch welche zartere Ströme eingezogen werden, bei *α α'* und dichotome Endſtröme β β' u. ſ. f. Freilich herrſcht hier keine dauernde Bewegung, ſo lange aber Strömung herrſcht, geht ſie genau ſo vor ſich, wie in dem Netzwerk der Plasmodien. Keineswegs ſoll damit die in Frage ſtehende Theorie begründet werden, vielleicht gibt es aber einen Fingerzeig für die naturgemäße Behandlung der Sache. Wir erhalten zunächſt:

Das nackte Protoplasma der Mixomyceten verhält ſich wie eine zähflüſſige Maſſe, ſie vertheilt ſich in capillare Strombahnen, in welchen ſteter Wechſel des Druckes und des Widerſtandes in der Wandſchicht der Grundſubſtanz herrſcht. Das Nachfluthen der Partikel iſt eine nothwendige Folge dieſes Verhaltens.

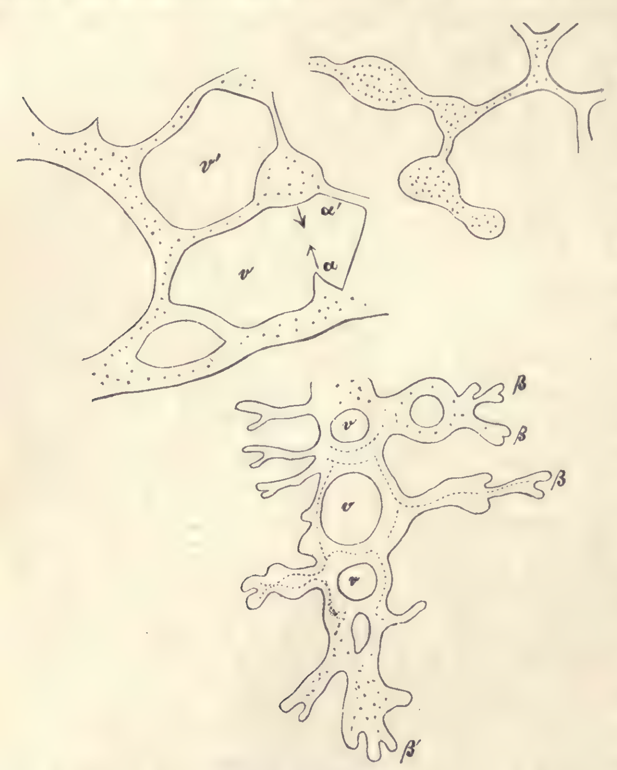


Fig. 46. Figuren von ausgefloſſener Terpentinmaſſe in Glycerin. *v* die Glycerinflächen. Die Körnchen ſind ſuspendirtes Bleiweiß.

Profeſſor v. Bohnsdorf (Helſingfors) demonſtrirte auf der Verſammlung deutſcher Naturforſcher u. Aerzte in Stuttgart 1834 einen künſtlichen Proteus, deſſen Bewegungen angeblich mit denjenigen der Amœba difluens übereinſtimmen ſollen. Nach der Angabe Ehrenberg's, welcher das Experiment unter von Bohnsdorf's Leitung anſtellte, wird dieſer künſtliche Proteus hergeſtellt, indem man eine Löſung von Chloraluminium in Kalilöſung tropft. Durch abwechſelndes Fällen und Wiederauflöſen der Thonerde in dem überſchüſſigen Kali ſollen dann die amöboïden Bewegungen entſtehen (Ehrenberg, Infuſorien. Text. S. 129).

b) Bei den in Zellen eingeſchloſſenen Stromnetzen iſt die Strömung

nur in vacuolenreichem Plasma auffällig ſichtbar. Bezüglich der Intenſität dieſer Strömung iſt zu beachten, daß die Section der betreffenden Pflanzentheile und das Eintauchen der mikroſkopiſchen Abſchnitte in Waſſer jedenfalls ſchon ſtörend wirken, bezogen auf die Verhältniſſe, welche an dem unverletzten Pflanzentheile herrſchen. Der Geſammtinhalt ſteht unter erheblichem Druck der Wand, wie aus dem Verhalten ausfließender Protoplasmamaſſen erhellt. In jedem einzelnen Stromfaden herrſcht ein peripherer Druck auf die Inhaltsmaſſe, wie in jedem capillaren Flüſſigkeitsfaden anderer Natur. Die Wand iſt gleichmäßig benetzt, d. h. alle Stromfäden, welche quer durch den Zellenhohlraum gehen, ſtehen in Communication mit einer gleichmäßig der Zellwand anliegenden dünneren oder dickeren Flüſſigkeitslamelle.

Der capillare Faden *a*, Fig. 47, möge durch den Hohlraum der Zelle gehen, *m* deren Wand, *n n* die Krümmungen des Wandbelegs, welche nach dem capillaren Faden continuirlich übergehen, *v v* die Vacuolen darſtellen. In dem Syſtem muß ſo lange Bewegung herrſchen, wie ein Unterſchied in der Dicke der Wandſchicht herrſcht. Dieſer Unterschied muß zum Theil durch Strömung in der Wandſchicht und ſolche in dem capillaren Faden ausgeglichen werden. Dieß gilt für jede zähe Flüſſigkeit und es mag *v v* Luft oder eine andere mit erſterer nicht miſchbare Flüſſigkeit ſein. Solche Strömung herrſcht in allen Waſſerlamellen, wie ſie im großblaſigen Bierſchaum vorliegen, wenn durch den Austauſch verſchiedener Gaſe die Hohlräume ihren Druck mindern. Dort ändern ſich die mit Luft erfüllten Hohlräume, welche unſeren Vacuolen *v v'*, Fig. 47, entſprechen. Werden ſie kleiner, ſo muß die Lamelle von Flüſſigkeit dicker werden. Es fließen in ſolch großen Blaſen Flüſſigkeitsſpindeln und feine Partikel dahin, dorthin, je nachdem zwei Vacuolen zuſammenfließen oder eine gegebene Vacuole ſich vergrößert.

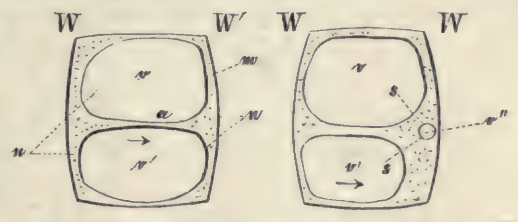


Fig. 47. Schema der Vacuolenbildung im Protoplasma.

In unſerem Syſtem, Fig. 47, ſind zwei Vacuolen oder, beſſer geſagt, der Raum *v v'* iſt ein einziger Hohlraum mit verdünnterer Löſung, wie der Wandbeleg, durch welchen ein Strang dichterer Flüſſigkeit ſich von der Wand *W* nach *W'* hinzieht. Damit dauernde ſichtbare Strömung herrſche, muß dauernd eine Störung des osmotiſchen Gleichgewichtes zwiſchen dem Stromſyſtem und den Vacuolen hergeſtellt werden oder es muß dauernd Verbrennung herrſchen. Sollen neue Strombahnen durch die Räume *v v'* möglich werden, ſo muß in einem gegebenen Orte *v''* eine neue Vacuole entſtehen, welche wachſend nach *v v'* durchbricht bis auf zwei capillare Stränge *s s*.

In dem complicirten Syſtem, Fig. 27, S. 27, kann nach der dort

angewandten Beobachtungsmethode das Auftreten der Vacuolen *v v' v''* in der Phaſe *6* nur begriffen werden, wenn man annimmt, daß ſie erſt aus der dichteren Grundſubſtanz entſtanden ſind, dann mußte Ausgleich durch Strömung erfolgen, oder daß ſie durch Annäherung der Fäden *v v'* in der Phaſe *4* entſtanden ſind. Dieß muß eintreten, wenn die Einmündungspunkte der angrenzenden Stränge in der Hautſchicht ſich nähern. Fragt man, wie das Stromſyſtem Fig. 27 überhaupt zu Stande kommt, ſo findet man nur dieſe Erklärung: zahlreiche kleine Vacuolen, alſo Räume, welche allſeitig von der dichteren Grundſubſtanz umgeben waren, durchbrachen dieſe Lamellen, ſo daß zahlreiche capillare Stromfäden entſtanden, die ein continuirliches Netzwerk darſtellen. Wir erhalten ſomit:

2⁰ In einer Protoplasmamaſſe müſſen Strömungen in capillaren Lamellen oder in capillaren Fäden herrſchen, wenn neue Vacuolen entſtehen oder früher gebildete vergehen, oder wenn mehrere Vacuolen ſich vereinigen, ſo daß eine Lamelle der Grundſubſtanz zu einem capillaren Faden wird. In einem ſolchen Syſtem wird Temperaturwechſel die capillare Spannung verändern, alſo eine Druckſchwankung bedeuten, welche nothwendigerweiſe eine Aenderung der Stromgeſchwindigkeit zur Folge hat.

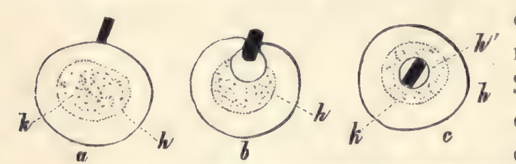


Fig. 48. Vorgang der Aufnahme einer Diatomee in eine Amöbe.

c) Die Vacuolenbildung iſt ſehr wahrſcheinlich ein Quellungs- oder Löſungsproceß, eine Art Verdauung vorher ungelöſter Partikel. Die Amöben, Fig. 9—15, die Vampyrella vorax, Fig. 16, die Actinoſphæra Eichhornii, Fig. 17, u. a. m. nehmen kleine feſtſchalige Diatomeen und niedere Zellenpflanzen auf, ſchließen ſie in hyaline, vacuolenähnliche Räume ein, behalten ſie eine Zeitlang und ſtoßen die Reſte der Schalen und Zellenſkelette während ihrer Wanderung wieder aus. Das Protoplasma in ſolchen Auswurfsmaſſen hat ſich ſeiner Farbe und Lagerung der Theilchen nach ſichtlich verändert.

Bei einigen verläuft die Aufnahme ſo langſam, daß man dieſem Proceß Schritt für Schritt folgen kann, Fig. 48. Hier wird ein Theil der hyalinen Randzone mit dem feſten Körper der Diatomee durch die Schicht *h* nach der Körnerzone *k* eingeſtülpt. In *c* beſteht alsdann das Gebilde aus drei concentriſchen Räumen *h' k h*.

Aehnliche Löſungs- und Verdauungsproceſſe müſſen ſich in der Pflanze ſtetig vollziehen für die Niederſchlagskörper der Stärke des Fettes und Oeles der geformten, in Waſſer unlöslichen Proteïne und anderer Körper mehr.

Bei der Entwickelung der Pflanzenzelle von dem jüngſten nach dem ausgewachſenen Zuſtande werden im Allgemeinen ſolche Proceſſe ſtetig

eine Rolle ſpielen und es wird die Plasmamaſſe in der Regel aus dem vacuolenloſen in dieſen Vacuolenzuſtand allmälig übergehen. Dieſes gilt jedenfalls für alle die vegetativen Zellen, welche vorzugsweiſe zum Studium der Protoplasmabewegung herangezogen wurden, als da ſind die vegetativen Zellen der Vallisneria, Hydrocharis, Tradescantia, Ecballium, die Cambiumzellen der Bäume u. a. m. Wir erhalten ſomit:

3° Die Vacuolenbildung in heranwachſenden Zellen kommt allgemein vor, iſt wahrſcheinlich eine Folge von Löſungsvorgängen, und es wird eine Vacuole ein mit klarer Flüſſigkeit erfüllter Raum von größerem wie geringerem ſpecifiſchem Gewicht, bezogen auf ſeine Umgebung, ſein können.

Allgemeine Betrachtung der Strömung.

Je größer die Bewegung der einzelnen Theile in einem complicirten Stromſyſtem iſt, um ſo größer muß der Stoffumſatz ſein. Je größer die Fläche wird und damit die Anzahl der Auszweigungen in jenen dentritiſchen Syſtemen Fig. 21, 22, um ſo mehr wächſt die Geſchwindigkeit der ſichtbaren Theilchen. Das Stromſyſtem, Fig. 21, in welchem die Pfeile der Einzelſtrömungen nach allen möglichen Richtungen weiſen, kann mit geringem Maſſenzuwachs ſich auf fußweite Strecken ausbreiten und doch nur wenige Centimeter lückenloſer Flüſſigkeit darſtellen, wenn alle Stromarme eingezogen ſind. Die Maſſe ſtrebt gleichwohl nicht, nach allen Richtungen und über alle Grenzen hinaus, ſich zu verbreiten, ſie ſtrebt nach einem dentritiſchen Syſtem, in welchem *p p'* eine periphere Zone, ähnlich der Baumkrone, darſtellt. Das Verrücken ſolcher Syſteme iſt nach Rosanoff eine periodiſche Bewegung, d. h. die Grenzzone rückt vor, ſinkt wieder zurück, rückt wieder vor u. ſ. f., ſo daß die Schritte vorwärts ſtetig die Rückſchritte überwiegen, ſ. Fig. 22 *A*. Je feiner die Vertheilung, um ſo mehr herrſcht die Strömung. Dieſelbe muß ſich aber in ſich ſelbſt begrenzen, weil die Stromfäden nicht unendlich dünn werden können und weil die Maſſe eine begrenzte iſt. Es muß alſo immer wieder irgendwo in unſerem Syſtem Anhäufung erfolgen, welche gleichbedeutend iſt mit einer Verringerung der Oberfläche. Wie das Gebilde ſich auch verhalten mag, ſtets werden nur ſolche Schwankungen zwiſchen Volum und Oberfläche vorkommen, wie die Fig. 45 zeigt, wo *a* die kleinſte, *c* die größte, *e* wieder die kleinſte Oberfläche für dasſelbe Volum der ſtrömenden Maſſe bedeutet. Dieſe Schwankungen ſind Folge von Druckſchwankungen, welche deßwegen unabhängig von dem hydroſtatiſchen Druck des Zellinhaltes, weil die Stromfäden capillare, ja mikroſkopiſch kleine ſind.

Da mit der Oberfläche bei allen wachſenden flüſſigen, wie ſpäter erhärtenden feſten Stromſyſtemen der Einfluß äußerer Agentien: Temperatur, Strahlung, Oxydation für die Einheit der in dem Syſtem umgeſetzten

Maſſe wächſt, muß die lebendige Kraft der ſichtbaren Bewegung wachſen. Dieß wird erreicht, indem die Einheit der Maſſe in immer neue Bahnen gelenkt wird, welche alle von den umgebenden Medien vortheilhafteſt beeinflußt ſind. Verſetzen wir uns in Gedanken in den Wachsthumsvorgang einer höheren Pflanze, ſo wächſt nach ihrer Ausſaat ſtetig ihre Oberfläche, die feſte Maſſe wird von Jahr zu Jahr auf größeren Flächen vertheilt. So entſteht der reichgliederige Baum, welcher mit der Fig. 21 zu vergleichen iſt. Auch der Zuwachs der feſten Maſſe iſt ein ſtetiger, wenn man abſieht von dem periodiſchen Hinfall der Blätter und ſchlecht ſituirten Aeſte. Jene Vertheilung aber der Maſſe auf die möglichſt große Oberfläche iſt nicht unbegrenzt, d. h. es kommt für jede Pflanze eine Zeit, wo für gegebene Oberfläche die Maſſe einmal ein abſolutes Minimum erreicht hat. Von nun aber wächſt dieſelbe für die gegebene gleiche Oberfläche. Dieß entſpringt aus dem Bedürfniß, das Syſtem feſt zu machen. Dieſer zweiten Anforderung kann aber nur genügt werden dadurch, daß an dem Orte, wo Strömung erfolgen ſoll, eine feſte Röhrenleitung durch den Verbrauch der ſtrömenden Maſſe angelegt wird.

Zweite Abtheilung: Zellbildung[1]).

§ 5. Die Bedeutung der Zelle im mechanischen Sinne.

Feſtigkeit, osmotiſche und chemiſche Spannung.

Die dauernde feſte Form der höheren Pflanzen beginnt mit der Ausſcheidung von dichteren Wänden in jenen bisher betrachteten Protoplasmamaſſen. Lamellen oder Fäden ſtellen in dem Syſtem eine capillare Spannung her, ähnlich wie ſie in dem Seifen- oder Bierſchaum herrſchen oder wie in der Actinoſphæra, Fig. 17 *A*; dort ſind alle Theile flüſſig, gleichwohl herrſcht eine gewiſſe Feſtigkeit gegenüber dem umgebenden Medium Luft und Waſſer. Die Lamellen werden allmälig oder plötzlich feſt zu

[1]) von Mohl, Verm. Schriften. -- Nägeli. Schleiden. Schacht. Hofmeister. Pringsheim. Strassburger. — H. Schacht, Beitrag zur Entwickelungsgeſchichte der Frucht und Spore von Anthoceros lævis. Bot. Ztg. 50. 457. 73. 8. — J. Tschistjakoff, Beiträge zur Theorie der Pflanzenzelle. Pr. Jahrb. Bd. X. S. 7. — J. Tschistjakoff, Beiträge zur Phyſiologie der Pflanzenzelle. 1. 17. 33. 81. 97. 329. — Bot. Ztg. 75. — E. Russow, Einige Bemerkungen zu den Beitr. zur Phyſiol. der Pflanzenzelle des Herrn J. Tschistjakoff. 329. 345. — Bot. Ztg. 75. — Ueber Zellbildung und Zelltheilung. Von Dr. Ed. Strassburg. Jena 1875. Hermann Dabis.

wirklichen Häuten (Zellmembranen), widerstehen einem begrenzten Zug oder Druck. Die flüssige Protoplasmamasse befindet sich jetzt in einer selbstgeschaffenen Hülle, Caulerpa, Vaucheria sind einzellige Pflanzen dieser Art[1]). Die Bildung fester, elastischer Häute befestigt das ganze System und stellt zwischen den Medien Luft und Wasser außerhalb und dem flüssigen Protoplasma innerhalb jener Hülle chemische und osmotische Spannung her. Der Ausgleich ist jetzt langsamer, wie wenn die zwei verschiedenen Medien ohne Membran an einander grenzen. Lösliche Körper, welche in dem Protoplasma entstehen, können jetzt gespeichert, zurückgehalten werden. Die Diffusion nach außen ist verlangsamt. Dieselben Processe werden auch im Innern verzögert, wenn die Pflanze vielzellig wird, d. h. zahlreiche Hohlräume in dem genannten Sinne herstellt. Die räumliche Entfernung solcher Hohlräume macht jetzt einen Widerstand möglich, welcher im einzelligen System nicht herrschen kann.

---

§ 6. Die Bedeutung der Zelle im morphotischen und genetischen Sinne.

Nach dem, was man jetzt von Organismen weiß, wird man sagen müssen: das Wachsen und die Formentfaltung sind als Bewegungserscheinungen des flüssigen Protoplasmakörpers anzusehen. Soll die Form dauernd sein, so muß sie erstarren, gleichwohl bestimmt belegene Ausflußstellen, die Knospen z. B. besitzen, Orte, wo von Neuem fest werdende Hüllen herausfließen (beziehungsweise wachsen). Dieser Vorgang ist, wie aus dem Früheren erhellt, um so gefahrloser äußeren Störungen gegenüber, je kleiner diese Ausflußstellen sind, daher im Allgemeinen die Bedeutung kleiner Zellenhohlräume. Die Formänderung setzt aber selbst wiederum im Innern der Plasmamasse eine Vertheilung der Keimkraft voraus. An einer Ausflußstelle mag ein Blatt, an einer zweiten ein Zweig, ein Haar an einer dritten entstehen, so sind alle diese Entwickelungen um so leichter möglich, je mehr jene specifischen Keimkräfte vertheilt werden an verschiedene kleinste Zellenhohlräume. Die Möglichkeit hoher gestaltlicher Differenzirung wächst mit der Gliederung der Protoplasmasse in differente Zellenräume.

Genau unter denselben Gesichtspunkt fällt aber die Betrachtung der Generation. Alle Pflanzen befanden sich einmal im Zustande einer einzigen Zelle oder sie waren einmal in einer sphärischen Plasmamasse individualisirt.

Die Abschnürung solcher kleinen Massen in großer Anzahl erscheint

[1]) Einzellige Pflanzen: Vaucheria. Bryopsis. Vallonia.

abſolut nothwendig für die Erhaltung und Vermehrung der Organismen an der Erde. Mechaniſch kann ſie eben ſo wenig wie der Vorgang geſchlechtlicher Uebertragung von Keimorganen irgend wie weiter begriffen werden.

In kleinen Räumen, Keim- oder Eizellen, muß die Anlage für alle aus ihnen durch Wachsthum ſpäter differenzirte Organe angehäuft und es müſſen die Zellen von ihren Ahnen getrennt ſein, ſoll die Continuität der organiſchen Bewegung durch ungemeſſen große Zeiträume verſtanden werden. Solche Zellen wachſen, d. h. ſie nehmen zu an Maſſe und Volum, ſie theilen ſich und bilden neue Zellen, weil ſie wachſen. Sie formen nach beſtimmten Geſetzen ihrer Evolution große Maſſen, welche von außen in das Syſtem hereingezogen werden, und ſtellen in der gegebenen Generation einen Maſſenumtrieb her, welcher rieſenhaft iſt gegenüber der Bewegung, welche die Keimkraft in die Ahnenzelle legte.

Die junge Pflanzenzelle enthält alle Formkeime und macht die ganze Evolution der Generation durch, ſo die Eizellen, die Sporen u. ſ. f. Oder die junge Zelle iſt eine Protoplasmamaſſe, in welcher nur ein Theil der Formkeime enthalten:

1° Meriſteme der Vegetationspunkte.
2° Cambium des Holzkörpers.
3° Scheitelzelle der Blätter bei den Mooſen, Farrenkräutern u. ſ. f.

Waſſergehalt.

In allen wachſenden Pflanzentheilen iſt die plaſtiſche Maſſe während des Vorgangs der Zellenvermehrung in hohem Grade quellungsfähig. Der Waſſergehalt in ſaftigen Pflanzen iſt ein außerordentlich großer, nichtsdeſtoweniger wird durch die feine Vertheilung in mikroſkopiſch capillaren Hohlräumen eine gewiſſe Feſtigkeit hergeſtellt. Das Gewebe der Agaricineen mit nur 4 bis 13 Procent feſter Maſſe kann gleichwohl dem Zug und Druck großen Widerſtand entgegenſetzen.

Durchschnittswassergehalt in 100 Gewichtstheilen.

Kartoffel	Knolle	76
	Kraut	85
Zuckerrübe	Wurzel	88
	Blätter	90
Tabak	Blätter	87
	Stengel	85
	Wurzel	64
Linde	Blätter	55
Eiche	»	57

Tanne	Holz	37
Eiche	»	35
Weide	»	60
Schwämme	Hutgewebe	87—96.

§ 7. Theorie der Zellbildung.

Alle pflanzliche Formbildung beruht auf zwei Vorgängen:

1⁰ Vorhandene Zellen wachfen und theilen fich, die Zahl der Zellen wird vermehrt.

2⁰ Alle Zellen ftreben von dem kleinften Volum, welches fie unmittelbar nach der Theilung einnehmen, nach einem abfolut größten, d. h. fie wachfen und find endlich ausgewachfen.

Die Heerde dauernder Vermehrung find die Orte, wo die Vorgänge unter 1⁰ fich abfpielen. An folchen muß derfelbe Vorgang Jahrhunderte, Jahrtaufende herrfchen, foll die Bedingung erfüllt fein, welche oben, S. 10, für die Continuität der Organifation an der Erde geftellt wurde. Diefe Orte find zum Studium der Zellenbildung gewählt worden in den Vegetationspunkten der Knofpe, in den Gefchlechtsapparaten aller Pflanzen, dem vegetativen Gewebe der niederen Algen, den Propagationsapparaten der Pflanze — kurz da, wo man wachfen fah, hat man entwickelungsgefchichtlich die Zerklüftung der vorhandenen Hohlräume ftudirt. Eine befondere Rolle fpielten die Gefchlechtsapparate der höheren Pflanze: die Pollenbehälter und die Ovula der Phanerogamen.

Bei allen Beobachtungen über Zelltheilung folcher Pflanzentheile, welche durch das Meffer oder die Nadel zergliedert werden, macht fich ein Fehler in der Beobachtung geltend, welcher bei ähnlichen Forfchungen an wafferbewohnenden niederen Algen und Pilzen ausgefchloffen ift. Es ift der Einfluß des Waffers felbft. Welches die wirklich in der Pflanze herrfchende Anordnung ift, kann daher aus den Präparaten nach der erften Methode nicht erfchloffen werden. Auch der Einfluß von Waffer auf Zellen, die foeben in der Vermehrung begriffen find, ftört das Gefüge, da immer alsbald Phänomene der Quellung und der Vacuolenbildung eintreten, die in der Pflanze nicht vorzukommen brauchen, weil die Flüffigkeiten, welche die jungen Zellen begrenzen, concentrirter find wie Waffer. Etwas Aehnliches gilt für pflanzliche Gebilde, welche in Alcohol lagen. Auch hier werden Niederfchlags- und Gerinnungserfcheinungen im Protoplasma bewirkt, die im lebenden Pflanzenkörper nicht vorzukommen brauchen.

Der Zellkern.

Im Innern der Protoplasmamaſſe ſchwebend, Fig. 49 *A*, bei Pſilothum, oder an der Wand dem protoplasmatiſchen Belege eingebettet, oder auch in einem Netzwerk hyaliner Protoplasmafäden befindet ſich eine klare ſphäriſche Ausſcheidung von eiweißreichem Protoplasma, der Zellenkern (nucleus). In dem Zellkern befinden ſich noch dichtere Körperchen, die nucleoli. Selbſt Stärkekörnchen können vorübergehend und dauernd dort niedergeſchlagen werden.

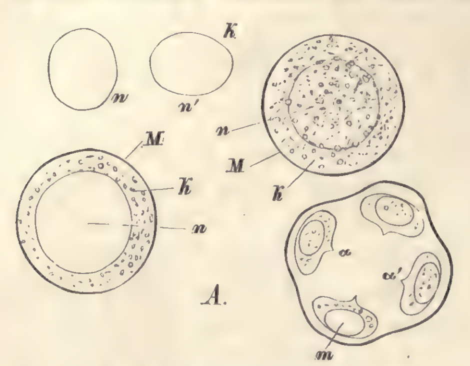


Fig. 49 *A*. Pſilothum triquetrum. Zwei Zellen vor, eine nach der Theilung. *M* Membran. *n* nucleus. *n n'* zwei aus den Zellen ausgetretene nuclei.

Der Zellkern fehlt den Pilzen und vielen Algen. In der Geneſe ſpielt er daher nicht überall eine weſentliche Rolle. Den Theilungen des nucleus wurde in neuerer Zeit[1]) beſondere Aufmerkſamkeit gewidmet. In der Fig. 49 *B* iſt in *n'''* ein ungetheilter Kern mit zahlreichen Körnchenreihen, in *n''* in der Theilung begriffen, gezeichnet.

So weit unſere Kenntniſſe über den Zellkern reichen, und ſie ſind bis jetzt rein morphotiſcher Natur, wird derſelbe bei der Zellbildung zerklüftet. Er vertheilt ſich durch Auseinanderfließen und bildet ſecundäre Kerne, oder die Subſtanz des Kernes löſt und vertheilt ſich im Plasma der Mutterzelle und es differenziren ſich ſpäter die Kerne der Tochterzellen.

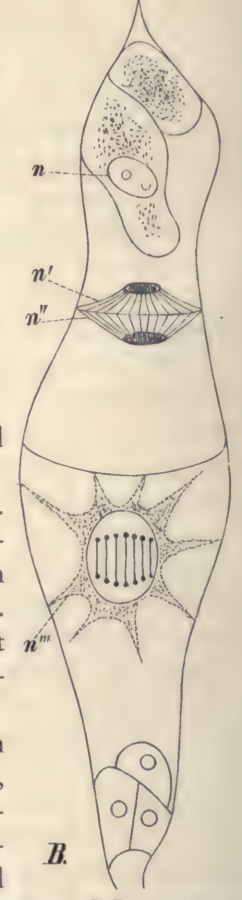


Fig. 49 *B*. Embryoſack von Monotropa hypopitys (nach Strassburger).

Bei der geſchlechtlichen Befruchtung der Coniferen und Phanerogamen tritt umgekehrt als anregender Act der Zellbildung eine Verſchmelzung je zweier Kernſubſtanzen ein, die Kernſubſtanz des Pollenſchlauches verſchmilzt mit dem Kern der Eizelle.

---

[1]) ſ. Strassburger, Zellbildung und Zelltheilung, Befruchtung und Zelltheilung.

In Säuren und Salzlöſungen gerinnt die Maſſe des Kernes zu geſtaltloſem Klumpen mit unregelmäßigem Contour.

Bei den Zelltheilungsvorgängen beobachtete man:

1⁰ daß der Zellkern der Mutterzelle nicht afficirt wird durch die

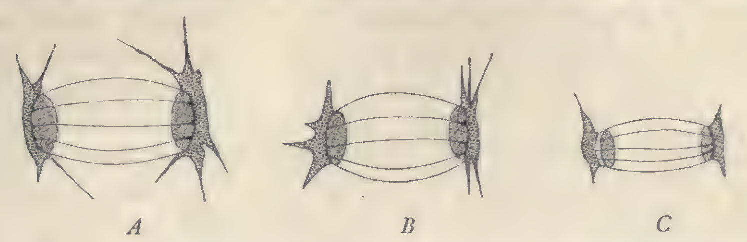


Fig. 50. Spirogyra orthoſpira. *A* die zwei Kerne in einer Zelle, acht Minuten nach dem Auseinanderrücken. *B* ebenſo vierzehn Minuten nachher. *C* noch ſpäterer Zuſtand.

Theilung des Protoplasma, ſo bei manchen Sporenmutterzellen, den Embryoſäcken der höheren Pflanze, Fig. 49 *B*.

2⁰ Er wird gelöſt und es entſtehen nach und nach zwei und ſo viele ſecundäre Kerne, wie ſpäter Tochterzellen auftreten, dahin gehören vielleicht alle vegetativen Zellen der höheren Pflanze.



Fig. 51. Spirogyra orthoſpira (nach Strassburger). *A* Zellkern. *B* ein ebenſolcher, verbreitert. *C* ebenſo (Alkohol). *D* Kernmaſſe nach Auflöſung des Kernkörperchens.

3⁰ Der Zellkern theilt ſich wie die Protoplasmamaſſe in zwei oder mehrere Tochterzellkerne, welche auseinanderfließen und ſich nach dem Orte begeben, welcher durch die Lage der neu auftretenden Zellwände vorgeſchrieben iſt, Fig. 50, 51.

Die Theilung des Kernes in zwei oder mehrere Tochterzellkerne vollzieht ſich in wenigen Minuten, Fig. 50, 51, bei den Fadenalgen des ſüßen Waſſers. Als beſtes Studienobject ſind die Conjugaten, insbeſondere die großen Formen der Gattung Spirogyra zu empfehlen.

Fig. 52. Kleine Parthie aus der Zelle von Spirogyra orthoſpira. Famintzin.

Bei Zellkernen, welche ſich in centraler Lage befinden, findet ſich entweder ein Netzwerk hyalinen Plasma's, Fig. 52, in welchem der Kern wie in einem Takelwerk aufgehängt erſcheint, oder ein ebenſolches von körnigem Plasma, Fig. 54. Hier bei den Epidermiszellen von Orchis

kommt, wenn von dem Wandbeleg *w w'*, Fig. 54, abgefehen wird, eine ähnliche Vertheilung der Protoplasmaftränge vor, wie bei der Amœba radiata des Süßwaffers, welche in Fig. 53 abgebildet ift[1]). Diefelbe befitzt in gleichwinkligen Abftänden zugefpitzte, in ihrem Fußpunkte drehbare Fangarme. Durch Contraction werden diefe Pfeudopodien verkürzt. Ganz ähnliche Drehungen und Veränderungen der Stränge kommen in dem Syftem der Fig. 54 vor, f. Figurenerklärung. Dort aber muß der Wandbeleg *w w'* die Verfchiebung der Fußpunkte der Stränge bewirken. Der Zellkern und die nucleoli werden nach den neueren Unterfuchungen STRASSBURGER's, AUERBACH's u. a.[2]) als Gebilde angefehen, die für das Wefen der Zelle als organifches Individuum die größte Bedeutung haben. Bei den vergleichenden Unterfuchungen über die Neubildung thierifcher und pflanzlicher Zellen hat fich bis jetzt indeß nicht die Uebereinftimmung in der Auffaffung herausgeftellt, welche nöthig ift, um diefen Gegenftand als abgefchloffen betrachten zu können[3]).

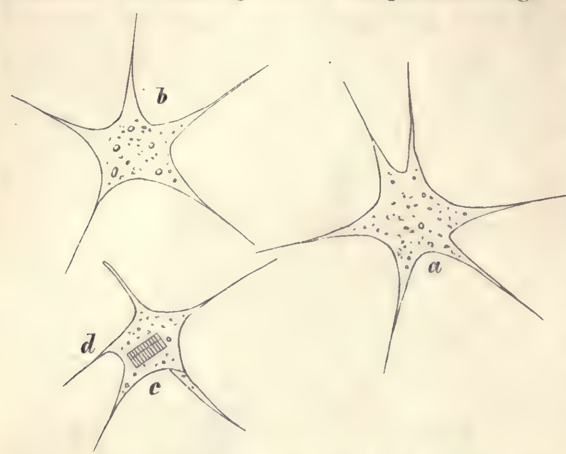


FIG. 53. Amœba radiata. In *a* fechs Strahlen der hyalinen Grundfubftanz, in *b* find nur fünf, in *c* nur drei in der ganzen Länge fichtbar. Die zu *a* fpäter fehlenden haben fich aus der Ebene der Einftellung fortbewegt. *d* Eingefchloffener Diatomeenpanzer.

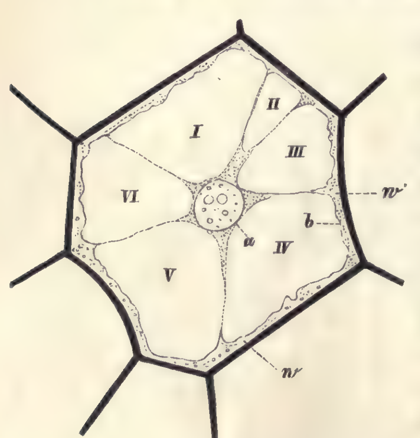


FIG. 54. Orchis Morio. Epidermiszelle mit einer amöbenartigen Vertheilung des Protoplasma's *a*, *b* der Wandbeleg. Die Räume *I*, *II*, *IV* der wäfferige Zellinhalt.

Bei der Befruchtung der Abietineen wird der nucleus des Pollenfchlauches *n* durch deffen Spitze in das Corpusculum ge-

---

1) FAMINTZIN, *Ann. d. fc. nat.* V. 7. Für das ausgezeichnete Studienobject der Spirogyren f. noch A. BRAUN, Verjüngung. 257 ff. PRINGSHEIM, Pflanzenzelle. 1854. S. 31 ff. DE BARY, Die Conjugaten. 1852. S. 2.

2) HANSTEIN, Bot. Ztg. über den Zellkern. — Zelle und Zellkern. Bemerkungen zu STRASSBURGER's Schrift «Ueber Zellbildung und Zelltheilung» von Dr. LEOPOLD AUERBACH. — COHN, Beitr. Bd. 2. Heft 1. S. 1. Breslau 1876. J. U. Kern's Verlag.

3) AUERBACH in COHN's Beitr. zur Biologie der Pflanzen. II. Bd. 1. Heft.

preßt und verſchmilzt dort mit dem nucleus *n'* der Eizelle zu einem Kernindividuum. In Fig. 54 *A a* verläßt der Kern des Pollenſchlauches *n* ſoeben die Spitze desſelben, in der Fig. *b* iſt er auf dem Wege nach dem Centrum des Corpusculum, in *c* iſt er in der Verſchmelzung mit dem Kern des Corpusculum begriffen.

---

§ 8. Sogenannte freie Zellbildung.

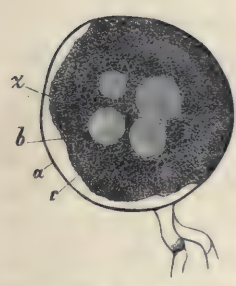


Fig. 56. Tuber æſtivum. *x* Tochterzelle. *b* Hautſchicht des Plasma. *a* Membran der Mutterzelle.

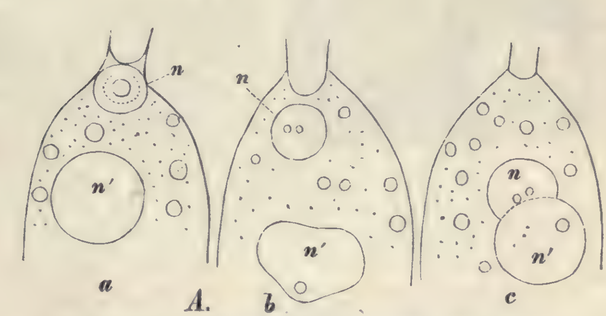


Fig. 54 *A*. Embryoſackſcheitel. Das Corpusculum der Coniferen nach Strassburger. *n n'* die Zellkerne.

In der Protoplasma-Maſſe der Mutterzelle differenziren ſich zuerſt die Kerne, ſodann ballt ſich ein Theil des Protoplasma um den Kern und umzieht ſich mit einer im Beginne vergänglichen, ſpäter feſten, elaſtiſchen Membran. Die Integrität der Mutterzelle wird durch dieſen Vorgang nicht vollſtändig zerſtört. Dieſelbe kann längere Zeit den gleichen Proceß wiederholen, ſo daß die Anzahl der Tochterzellen wächſt, bis endlich der ganze

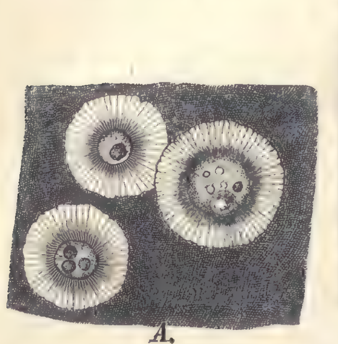
Fig. 55. Gingko biloba. Ein Ei mit freien Kernen, um jeden Kern eine hellere Zone.

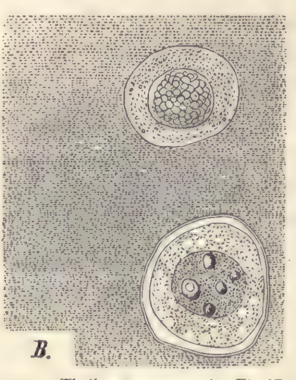


Fig. 57. Ephedra altiſſima. Ein Ei mit freier Zellbildung nach Strassburger.

Fig. 58. Ephedra altiſſima. Die frei entſtandenen Tochterzellen wachſen durch die Eihaut, ſind zum Theil in Theilung begriffen.

Raum der Mutterzelle erfüllt, ihr ganzer protoplasmatiſcher Inhalt verbraucht iſt. So entſtehen die Eizellen wahrſcheinlich aller Pflanzen, die Keimbläschen der Phanerogamen mit Sicherheit, die Ascoſporen der Pilze, das Endoſperm der Mehrzahl der Phanerogamen. Als geeignetes Material der Unterſuchung wurden gewählt: die Asci der Perizen und des Tuber,





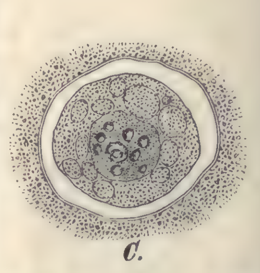


FIG. 59. Ephedra altiſſima nach STRASSBURGER. Theilungsvorgänge im Ei (Corpusculum). *A* freie Zellen im Protoplasma. *B* ſpäterer Zuſtand, die untere Zelle bereits mit Zellhaut. *C* eine einzelne, frei entſtandene Zelle. *D* eine Monſtroſität, das Ei von Gängen durchſetzt, welche die Zellen umgrenzen.

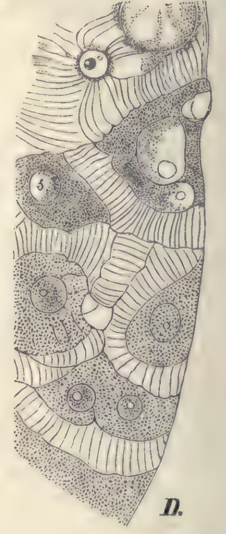




FIG. 60. Eine der groſsen Endoſpermzellen von Ceratophyllum.

Fig. 56, die Osgonien der Algen und Pilze, die Embryoſäcke der Coniferen, Fig. 55, 57, 58.

Die freie Zellbildung kommt im Pflanzenreiche vorzugsweiſe in denjenigen Orten vor, wo mit hoher Keimkraft verſehene Zellen entſtehen ſollen; ſolche ſind: die Sporen der Ascomyceten, die Schwärmſporen der Pilze (Peronoſporeen, Mucorinen, Saprolegnieen).

Die Zellen, welche den Proceß dieser Zerklüftung ausführen, sind selbst meist in geschlossenem Verbande oder als Endglieder eines Zellenzweigsystems durch Theilung entstanden.

Das Wesen der entstehenden, zuerst hüllenlosen Plasmakugel, wie sie in mannigfacher Form und Anzahl entsteht, beruht in der Individualisirung. Die Zelle heißt Primordialzelle und entspricht diesem Namen durch die Zartheit ihrer Begrenzungsschicht.

Die frei entstandenen Tochterzellen, Fig. 59 *A* bis *C*, stellen im Beginn ihrer Entwickelung außerordentlich vergängliche, zarte Plasmaballen dar, durch geringe Contraction in Alcohol von dem umgebenden Mutterplasma unterschieden, Fig. 59 *C B*[1]). Ihr specifisches Gewicht muß sich, da sie in der Mutterzelle zum Theil, so bei den Abietineen, Wanderungen von dem Orte der Entstehung ausführen, von demjenigen der übrigen sie umgebenden Plasma unterscheiden.

In den Eizellen wiederholt sich die Bildung freier Zellen zuweilen mehrmals, oft in abnormer oder ungewohnter Weise, Fig. 57, 59, 60. So bildet der Embryosack der Phanerogamen nach der Anlegung der Eizellen das Endosperm. Aber selbst in den erwachsenen Endospermzellen des Ceratophyllum, Fig. 60, bilden sich nach und nach, zuweilen in ungewohnter Weise, zahlreiche Nuclei, um welche die Primordialzellen sich ballen und mit einer festen Membran versehen. Von STRASSBURGER wurden ähnliche Gebilde bei Ephedra, Fig. 59 *D*, beobachtet.

Die wiederholte Freizellbildung von Ceratophyllum verläuft so: die Zelle *z* ist selbst aus dem Protoplasma des Embryosackes entstanden, besitzt den wandständigen Nucleus *n*, Fig. 60, und einen dicken Wandbeleg von Protoplasma. In diesem differenziren sich zahlreiche Nuclei *n'* und um diese differenzirt sich ein Plasmaballen, welcher alsbald bei *z'* mit einer festen Cellulosemembran versehen ist. Viele solcher Zellen des zweiten Grades liegen in dem Vacuolentheil der Mutterzelle bei *z'*.

---

§ 9. Zelltheilung.

Der ganze protoplasmatische Inhalt zerklüftet sich in zwei, vier und mehr Tochterzellen. Die ganze Masse der Mutterzelle geht in die Tochterzellen auf.

Die vegetativen Gewebe und die männlichen Propagationszellen der

---

[1]) Die Einzelheiten d. Differenzirung f. STRASSBURGER, Zellbildung u. Zelltheilung. S. 4 ff.

Phanerogamen, die Pollenkörner gehören hieher. Bei dem Studium dieſes Vorganges ſind offenbar mehrere Aufgaben zu löſen. Zunächſt iſt die mikroſkopiſche Structur des Zellenleibes während der Theilung zu ſtudiren, ſodann aber die Lage der Tochterzellen und das Gefüge der durch die Theilung entſtehenden Gewebe, ſowie die Structur und gegenſeitige Lage der Zellwände, welche die Tochterzellen von einander trennen. In ſeinem ganzen Umfang kann dieſes Gebiet nicht allgemein hier abgehandelt werden. Es gehört zum Theil in die Morphologie und Entwickelungsgeſchichte.

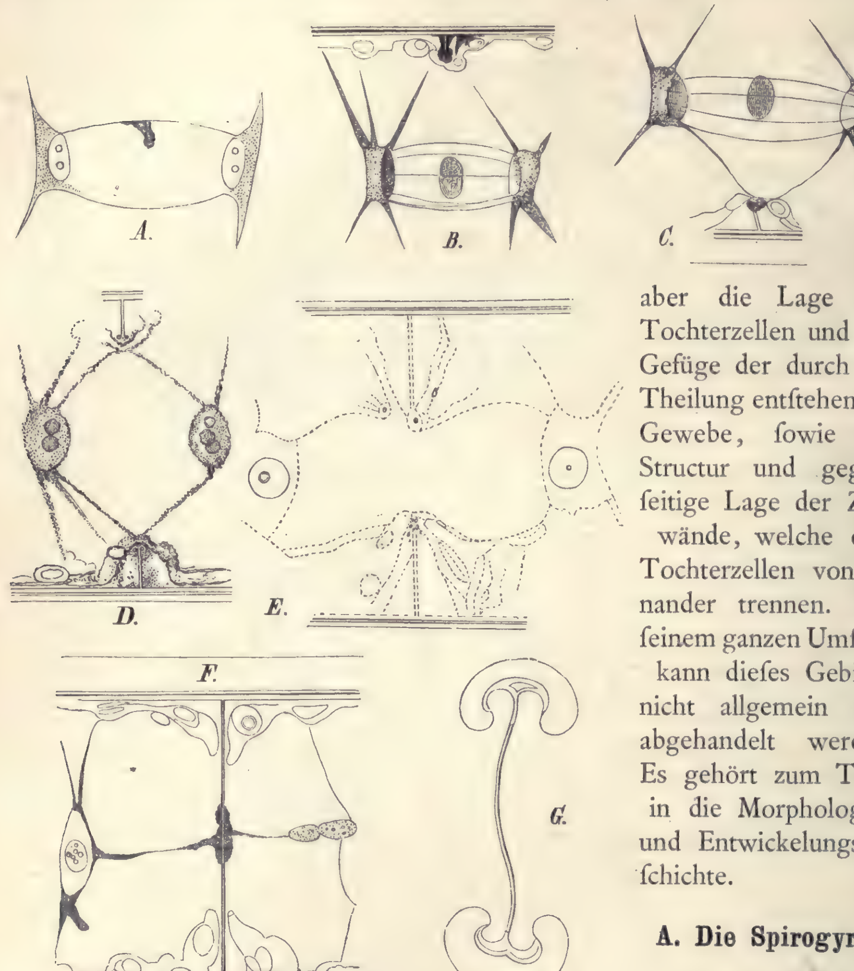


Fig. 61. Beobachtungen über die Zelltheilung der Spirogyren. *A* die beiden Kerne differenzirt, jeder mit zwei Kernkörperchen. *B C D E* allmäliges Vorſchreiten der Scheidewände. *F* die fertige Scheidewand. *G* eine beiderſeits abgeſtoßene Querwandſcheibe (Spirogyra orthoſpira).

A. Die Spirogyra.

In vorhandenen Cylindergliedern des Algenfadens werden nach der Theilung der Kerne und deren Wanderung Querſcheidewände im Verlauf weniger Stunden allmälig ausgebildet, Fig. 61.

Die Wand, welche aus der cylindriſchen Zelle des Algenfadens zwei Zellen bildet, entſpringt als ſchmale Ringleiſte, welche mit der Cylinderwand verwachſen iſt, *B*. Sie ſchreitet in dem Maaße, wie die Kerne und

die ſie tragenden Protoplasmafäden auseinanderrücken, nach dem Mittelpunkte vor, bis der Kreis, welchen die neue Zellwand ausfüllt, geſchloſſen iſt, Fig. 61 *E, F.*

B. Sporen der Cryptogamen.

In den auf vegetativem Wege, nach zahlreichen Zellgenerationen entſtandenen, Mutterzellen der Sporen zerklüftet ſich der primäre Zellkern oder er bleibt vorhanden. Im erſteren Falle theilt er ſich in zwei Theile, ſodann nochmals, ſo daß vier Zellkerne vorhanden ſind.

1⁰ Der primäre Kern bleibt eine Zeit lang erhalten. Die Sporenmutterzellen von Isoëtes ſind das beſte Studienobject, Fig. 62, 63. In der Mutterzelle bilden ſich vier Zellkerne, welche ſich ſo wie die Ecken eines in der Kugel belegenen Tetraëders lagern; von der Kugelwand aus entſpringen



Fig. 62. Iſoëtes Durieni Bory. Mutterzelle der Makroſpore nach vollendeter Theilung, kurz vor Auflöſung des primären Kerns.

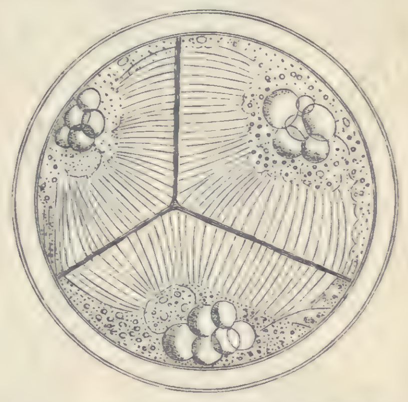


Fig. 63. Iſoëtes Durieni. Mutterzelle der Makroſporen nach vollendeter Theilung.

die ſechs Membranplatten, welche im Centrum der Kugel in einem Punkte ſich ſchneiden, vier Tochterzellen von einander trennen, von welchen jede drei im Innern der Kugel belegene plane Wände und eine in der Kugelfläche belegene Wand beſitzt.

2⁰ Der primäre Kern vergeht. Die Wandbildung geſchieht in einem conſtanten, allſeitig auftretenden Niederſchlagsproceß. Es treten in einer Entwickelungsreihe von verſchieden alten Sporangien (das beſte Studienobject iſt Pſilothum triquetrum) zuerſt zwei Kerne auf, dieſe verſchwinden, es treten vier auf. Jetzt bilden ſich zwei Körnerplatten, welche vier Kugelquadranten abſchneiden, und im letzten Stadium iſt die Kugel vierzellig, Fig. 49 *A.* Die Membran der Mutterzelle iſt während dieſes Vorganges in hohem Grade in Waſſer quellungsfähig, ſie wird bis zur vollen Ausbildung der Sporen reſorbirt.

3° Zelltheilung der Mooſe, allmälige Wandbildung.

Nach dem Auftreten der vier Zellkerne zerklüftet ſich der protoplasmatiſche Inhalt durch ſechs Körnerplatten bei Anthoceros lævis, Fig. 64 *a* und *b*, es entſtehen vier Zellen, jede von der Geſtalt eines Tetraëders.

Bei Pellia epiphylla ſchnürt ſich die Wand der Theilung entſprechend ein und verdickt ſich in den Winkeln bei *v*, Fig. 64, da, wo die endliche Abſchnürung der Tochterzellen erfolgen muß. Dieſe führt bei Anthoceros zur Vertheilung der Membran der Mutterzelle um die vier Tochterzellen. Die Spore der Pellia theilt ſich in ſpäterer Phaſe, aber noch vor der Ausſaat, in mehrere Zellen, welche in dem ſphäriſchen Sporenkörper in Verband bleiben.

4° Zellbildung der Moosſpore, plötzliche Wandbildung.

Bei den Laubmooſen wird innerhalb der Membran der Mutterzelle jede tetraëdriſche Tochterzelle von einer eigenen Membran umhüllt, während diejenige der Mutterzelle noch eine Zeitlang erhalten bleibt. Zur Zeit der Sporenreife aber ſind die Hüllen der Mutterzellen reſorbirt, die Sporen ſind iſolirt und füllen als ein Pulver den Sporenraum des Fruchtkörpers aus.

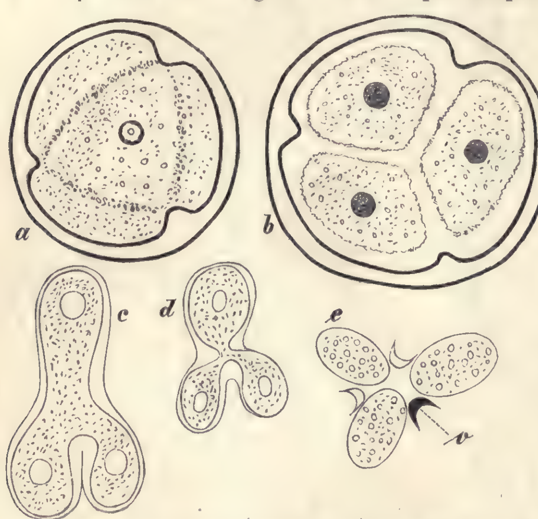


Fig. 64. Anthoceros lævis[1]). Sporenmutterzellen in der Theilung. Entwickelung der Sporen: *a* die Sporenmutterzelle. *b* ſpätere Phaſe. *c*, *d*, *e* Pellia epiphylla[2]). Theilung der Sporenmutterzelle, *c* die urſprünglich kugelige Zelle in vier Säcke, von welchen drei ſichtbar, eingeſchnürt, *d* ſpäteres Stadium, in *e* die Sporen iſolirt. *v* Zellſtoffverdickung in der Schnürſtelle.

5° Theilung der Equiſeten[3]), die Specialmutterzelle bleibt erhalten.

Die Theilungen im Sporangium der Equiſeten ſind analog den früheren bei den Mooſen, wenigſtens in den weſentlichen Zügen. Die Membran *m* der Tochterzelle aber wird nicht zur definitiven Hülle, ſondern der Protoplasmakörper bildet eine zweite Hülle *m'*, Fig. 65 *B*, dieſe bleibt dauernd. Die erſtere *m* aber zerklüftet ſich in zierliche Schraubenbänder, welche zur Zeit der Sporenreife in der Zweizahl an je einer Spore feſthaften, ſich dehnen oder ſpi-

[1]) ſ. Schacht, Bot. Ztg. 1850. Entwicklungsgeſchichte der Frucht von Anthoceros lævis. S. 489 ff.

[2]) Hofmeister, vergl. Unterſuchungen.

[3]) Sanio, Botan. Ztg. 57. S. 657 ff.

ralig verkürzen und als Schleuderer (Elateren) die Fortbewegung und Ausstreuung der Sporen unterstützen. Bei den Equiseten bildet sich somit in der Zelle eine zweite durch vollständigen Verbrauch des Plasma, während die Membran der vorhergehenden Generation sich in die dauernden Schraubenbänder zerklüftet. Etwas ganz Analoges bei noch auffälligerer Zerklüftung der Membranen, ja der vorhergehenden Generation kommt bei den niederen Algen (Schizoglamis) vor[1]). Es zerreißen die Membranen in zwei halbkugelige Klappen, für die erste Generation ohne Theilung, ebenso für die Theilung in zwei Individuen. Vier Klappen entlassen den Zellen-

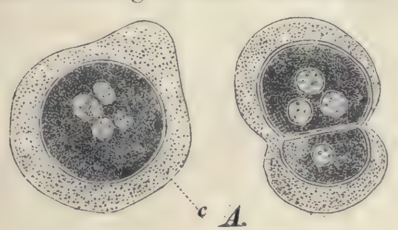


Fig. 65 *A*. Equisetum hyemale. Mutterzelle mit vier Kernen und Mutterzelle nach der Theilung in zwei Tochterzellen.

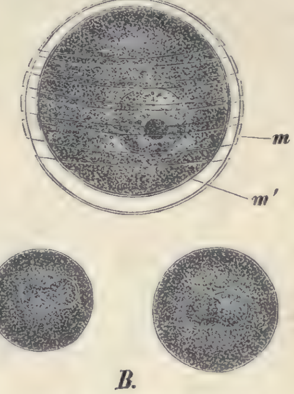


Fig. 65 *B*. Halbreife Sporen, in *m m'* differenziren sich die Elateren.

körper nach der zweimaligen Zerklüftung des protoplasmatischen Inhaltes in vier Kugeln, s. Fig. 65 *C*.

6⁰ Zerklüftung der Fucuseizelle und Häutung[2]).

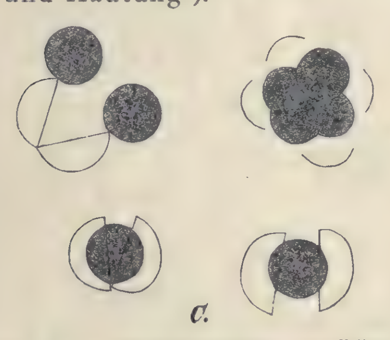


Fig. 65 *C*. Schizoglamis gelatinosa. Zwei Zellen, welche ihre Zellhaut in zwei Klappen zerreißen. Zwei neue Zellen, welche ebenso die Membran der Mutterzellen zerklüften. Die dritte Generation vier Tochterzellen, die Membran zerfällt in vier Klappen.

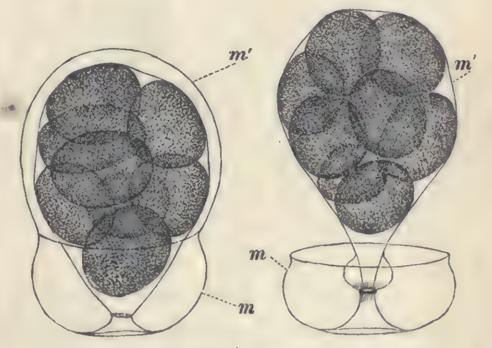


Fig. 66. Fucus vesiculosus. Früheres und späteres Stadium der Häutung des Oosporangium, *m* die erste, *m'* die zweite Hülle [1]).

Die Gattung Fucus bildet an bestimmten Stellen des Lagers Sporangien, welche an die Oberfläche des vegetativen Körpers durch Quellung

[1]) A. Braun, Ueber die Erscheinungen der Verjüngung in der Natur. Leipzig 1871. Taf. I. [2]) *Ann. d. sc. nat. IV. 2.*

entlassen werden. In diesen entstehen durch Zelltheilung acht Tochterzellen, Fig. 66. Die Hülle *m* wird gesprengt und eine zweite, selbst dritte Membranlamelle abgestreift, bis endlich die acht Keimzellen als hüllenlose Primordialzellchen frei im Meerwasser fluthen[1]).

C. Pollen der Phanerogamen.

1º Einzelzellen.

Die Einzelpollenzellen entstehen in einem ursprünglich geschlossenen Gewebe der Antheren. Nachdem in demselben eine Reihe vegetativer Theilungen, in welchen die Zahlen der von einer Zelle abgeleiteten Tochterzellen sind: 1, 2, 4, 8, abgeschlossen ist, Fig. *a*, werden die letzten Abkömmlinge zu Pollenmutterzellen. Jede bildet vier Kerne, Fig. 67 *a b c d*. Es erfolgt die Zerklüftung des Plasmakörpers durch Membranen *l*, Fig. 67 *c d*, welche allmälig von der Wand nach dem Mittelpunkt der Zelle wachsen und endlich die vier Plasmamassen trennen; in *d* der Fig. 67 sind in den drei rechts in der Figur belegenen Zellen die Protoplasmamassen noch durch zarte Brücken in Verbindung. Die Individualisirung der Pollenkörner ist damit aber noch nicht erreicht. Das Gehäuse, Fig. 67 *c d*, stellt erst die Specialmutterzellen dar. Jeder der vier gesonderten Protoplasmakörper umzieht sich nochmals mit einer später in zwei Schichten differenzirten Membran, Fig. 67 *3. 4.* Das System der Specialmutterzellen wird im Verlauf des Wachsthums dieser Pollenzellen resorbirt.

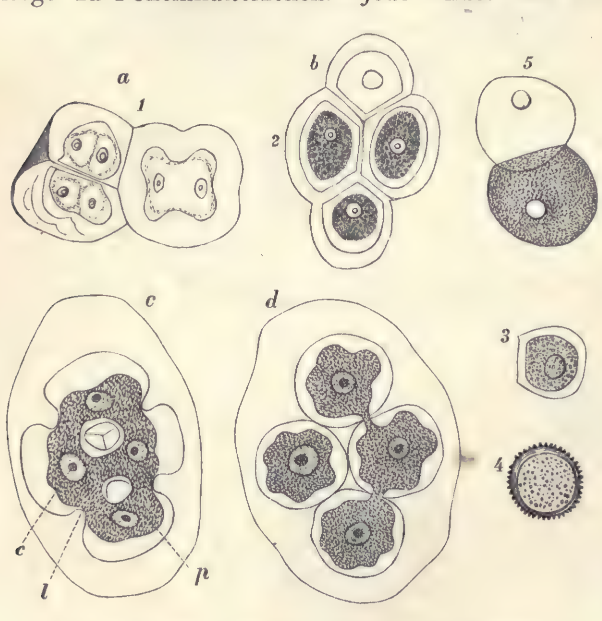


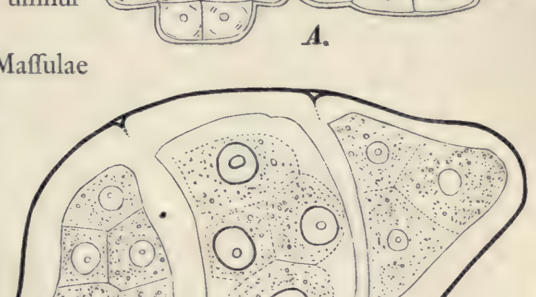
Fig. 67. Malva rosea. Pollenmutterzellen mit quellender Membran. Lavatera. *a* Pollenmutterzellen. *b* Pollenmutterzelle in vier Specialmutterzellen. *3* solcher Zustand isolirt. *5* leere Special-Membranzellen. *4* reifer Pollen. Bildung der Special-Mutterzellen von Althæa rosea. *l* die Zellstoffleisten. *p* die Primordialzellen. *c* Nucleus. Pflanzenphys. Untersuch. von Nägeli und Cramer. 1. Heft. Zürich 1855.

[1]) Thuret, *rech. sur l. fucac. Ann. d. sc. nat. bot. IV. 2.*

2⁰ Tetraden, Octaden u. ſ. f. bis Maſſula der Asclepiadeen und Orchideen.

Bei den vorherbeſchriebenen Theilungen ſchließt die Entwickelung mit einzelligen iſolirten Propagationszellen, Sporen, Pollenkörnern ab. Bei den vorgenannten Familien werden zuletzt vielzellige iſolirte Gebilde erzeugt.

Das Individuum im Blüthenſtaub der Acacien, Monotropeen, Ericaceen u. a. m. iſt mehrzellig. Die 4, 8, 16 Zellen beſitzen eine gemeinſchaftliche, das ganze Syſtem, Fig. 68 *A*, umhüllende Außenhaut, Exine.



Die Individualiſirung der Maſſulae in Pollen der Orchideen, Fig. 68 *B*, geſchieht ſo, daß ſich nach einer Reihe von vegetativen Theilungen ein Complex von Tochterzellen mit jener Exine umzieht. In ſolcher Maſſula befinden ſich dann 100 und mehr Pollenzellen.

Bei den Asclepiadeen, Fig. 68 *C*, wird der ganze Inhalt eines Antherenfaches zu einer einzigen Maſſula, *b* iſt die gemeinſame Lamelle, die vor der Geſchlechtsreife, ja ſchon vor der vollendeten Theilung differenzirte Exine. Der Querſchnitt einer jugendlichen Anthere, welcher in unſerer Fig. 68 dargeſtellt iſt, zeigt zunächſt an der rechten Seite langgeſtreckte Mutterzellen, welche ſich ſpäter ſo theilen, wie die linke Seite halbſchematiſch darſtellt. Zuletzt beſteht die zuſammenhängende Pollenmaſſe aus zahlreichen parallelopipediſchen Zellen.

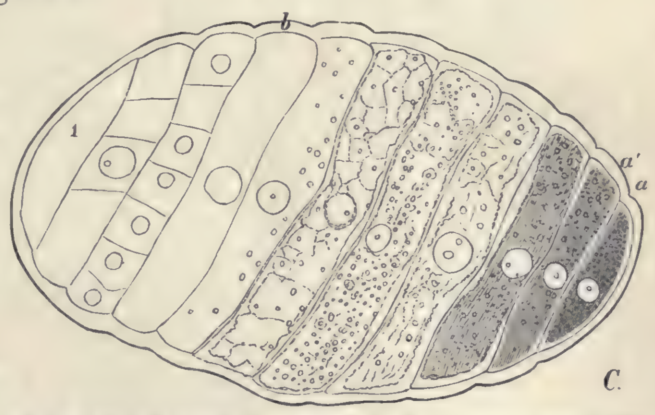


Fig. 68. *A* Pollen der Acacien, von der Fläche und im Durchſchnitt geſehen (ſchematiſch). Das Pollenkorn beſteht aus 16 Zellen. *B* Maſſula von Phajus Wallichii während der Zelltheilung. *C* Asclepias ſyriaca. Querſchnitt einer Maſſula. Die Pollenmutterzellen von *a* bis *b* ungetheilt, bei *1* in der Theilung begriffen.

D. Vorkeimzellbildung bei den Coniferen.

Die befruchtete Eizelle der Coniferen, namentlich der Taxineen und Abietineen ist ein vorzügliches Studienobject, leicht zu beschaffen und ebenso leicht mikroskopisch zu präpariren.

Das Corpusculum (der secundäre Embryosack der Abietineen, s. Systematik und allgemeine Morphologie) ist ein eiförmiger bis zu zwei mm großer Raum, welcher von einer einzigen Zelle ausgefüllt ist (Fig. 55, 57, 54). In dem einen Pol derselben Fig. 69 *A B* differenzirt sich die befruchtete Eizelle zunächst in den Vorkeim des Embryon. Derselbe ist von Gestalt einer biconvexen Linse, theilt sich durch senkrecht zu einander stehende Wände in vier gleich große Zellen, Fig. 69 *A B*, jede derselben theilt sich gleichsinnig mit den Nachbarn durch Querwände, so daß ein System entsteht, welches 4, 8, 16, 32 Zellen enthält. Bei je einer solchen

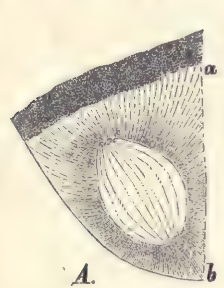


Fig. 69 *A.* Picea vulgaris. Theilungszustand im Vorkeim. *a b* Körnerplatte, in der später die Membran auftritt.



Fig. 69 *B.* Picea vulgaris. Theilungen im Vorkeim zu einer Zeit, wo dieser aus 12 Zellen in 3 Etagen besteht (nach Strassburger).

Theilung fließt der Kern in zwei Tochterkerne auseinander, welche durch zahlreiche Körnerreihen mit einander in einen eigenthümlichen Spindelraum verbunden bleiben, Fig. 69 *A*[1]).

---

§ 10. Theilung bei Œdogonium und den Diatomeen.

Bei den Œdogonien wurde von Pringsheim zuerst eingehender eine Modalität der Theilung studirt, welche auch den Diatomeen in den wesentlichen Zügen eigen und von großem Interesse ist, weil der Vorgang des Zellenwachsthums direct unter dem Auge des Beobachters verläuft.

Die erste Cylinderkette der Figur 70 bildet in der ausgezeichneten Zelle einen Ring von plastischer Cellulosemasse, welcher der Innenseite der

1) Strassburger, Zellbildung. Jena. H. Dabis. 1876.

Cylinderwand anliegt. Zu gleicher Zeit theilt ſich der protoplasmatiſche Zellinhalt in zwei Tochterzellen, durch eine Querwand, Fig. 70 *B*. Die eine der Zellen (in der Fig. 70 die untere in *B*) zerreißt ihre Wand mit ſcharf umſchriebenem Ringſchnitte, und es entfernen ſich die beiden Hälften des Zellenfadens, indem ſie die entſtehende Lücke in der Cylinderwand mit einem neuen Stücke ausfüllen, welches aus dem Ringe plaſtiſcher Celluloſemaſſe ausgezogen wird. Dieſer Vorgang erfordert 20 bis 30 Minuten. Die Zellenkette iſt jetzt in den Zuſtand *C*, Fig. 70, vorgerückt. Die größere Tochterzelle in *B* derſelben Figur ſtreckt ſich nun und verſchiebt die Querwand bis in die Nähe der Rißſtelle. Das Syſtem iſt jetzt in das Stadium *D*

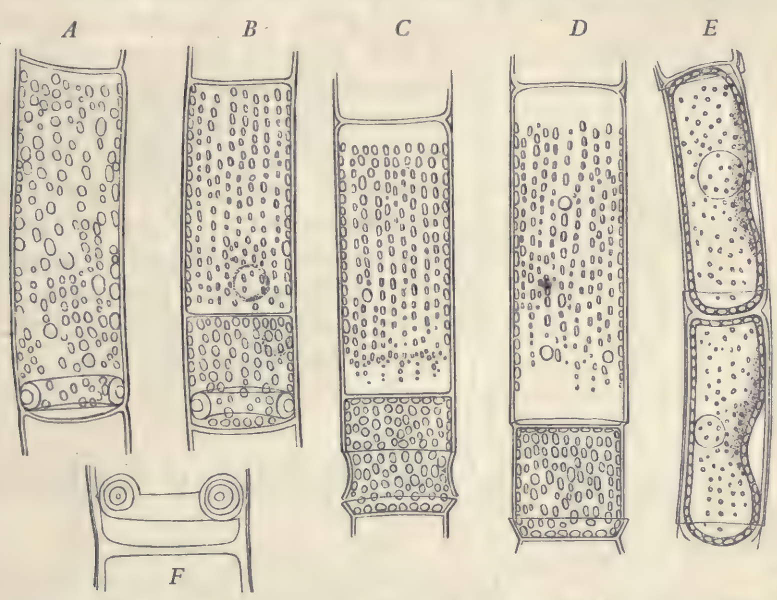


Fig. 70. Œdogonium. *A*. Die Zelle, welche ſich zur Theilung anſchickt, hat den Celluloſering gebildet, ſ. *F* bei ſtärkerer Vergrößerung. *B*. Die Zelle hat ſich getheilt. *C*. Die Wand iſt geriſſen, der Ring iſt zum Cylinderſtück ausgezogen. *D*. Die Mutterzelle hat ſich bis zur Rißſtelle geſtreckt. *E*. Zwei Schwärmſporen bildende Zellen. Die obere iſt die jüngere. *F*. Œdogonium tumidulum. Ein fertig gebildeter Celluloſering (nach Strassburger).

getreten. Die Tochterzelle, welche zuerſt austrat und ihre Wand aus dem Celluloſering bildete, ſtreckt ſich und erreicht die Größe ihrer Schweſterzelle. Die Kappe unterhalb der Rißſtelle, ſ. Fig. *D*, bleibt erhalten als ein kurzer, ſtarker, verdickter Membranhohlkegel.

Aus dieſer Entwickelungsgeſchichte geht hervor, daß die Hülle aus zwei Membrancylindern beſteht, von welchen der innere an dem äußeren bei dem Uebergang von *C* nach *D* vorbeigleitet.

Aehnlich dem Theilungsvorgang bei Œdogonium iſt derjenige eini-

[1]) Pringsheim, Jahrbücher I. 1858. S. 1.

ger Diatomeen, der Melofiren, Pinnularien und der Himanthidien. Die Zellhäute der Diatomeen find ftarr und ftark mit Kiefelfäure infiltrirt.

Die Zelle befteht aus zwei Schalen *a* und *b*, Fig. 71 *A*. Die eine *b* fteckt in der anderen *a* wie eine Schachtel im Deckel. Bei der Theilung fchieben fich diefe beiden auseinander und es differenziren fich zwei neue Schalenftücke *c*, *d*, welche urfprünglich verwachfen waren. *c* gehört jetzt zu *a*, *d* gehört zu *b*. Das Syftem ift jetzt zweizellig. Der Durchfchnitt fenkrecht zur Ebene der Figur ift bei verfchiedenen Arten beziehentlich ein Kreis, eine Ellipfe, ein Rechteck u. f. f.

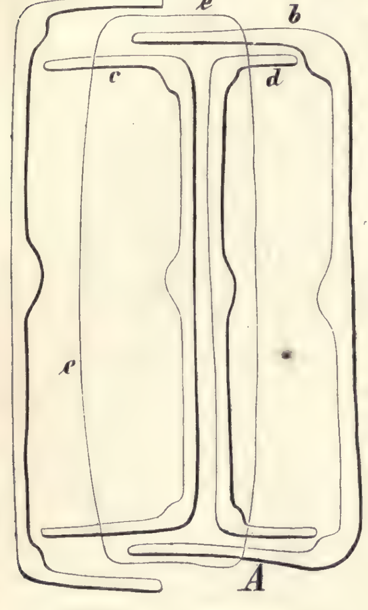




Fig. 71. Schema der Theilung der Diatomeen. *A* Pinnularia gibba, Ehrenberg. *a* und *b* alte Zellenfchalen eines Individuums. *a* und *c* und *b* und *d* die zu den zwei neu entftandenen Individuen gehörigen Schalen. *e* Zwifchenftück. *B* Melofira varians. Schema für die zweimalige Theilung.

Fig. 71 *B* zeigt dasfelbe Syftem fchematifch dargeftellt nach der zweiten Theilung. (Ein Fehler in der Zeichnung ift dahin zu ändern: von links nach rechts ift die erfte Schale ein Deckel, die zweite eine Schachtel, die dritte muß eine Schachtel fein, ift aber in der Figur als Deckel zur vierten Schale dargeftellt. Die vierte Schale muß ein Deckel fein.) [Eingehenderes über diefen Theilungsvorgang im II. Buch, Allgemeine Morphologie § 6. A. 4.]

§ 11. Theilungen in der Epidermis.

Die Epidermis ftellt eine Gewebeplatte allfeitig dicht an einander fchließender Zellen dar, welche fchon fehr frühzeitig in der Knofpe der Blätter und Zweige gefetzmäßige Theilungen durchmachen. Solche fchließen ab mit der Entftehung der Spaltöffnung. Ein Syftem von zwei halbmondförmigen Zellen, zwifchen denen ein fpaltenförmiger Intercellularraum[1]) den Verkehr der atmofphärifchen mit den Binnenlufträumen herftellt. Fig. 73 *E*.

In der Fläche der Epidermis befitzt die Mutterzelle der beiden Schließzellen verfchiedene Lagen:

1⁰ Sie geht als Tochterzelle des erften Grades aus einer gegebenen Epidermiszelle hervor und zu jeder folchen gehört eine Spaltöffnung.

[1]) f. § 25 B des Buches.

2⁰ Sie entſteht wie vorher aus beſtimmten vereinzelten Epidermiszellen.

3⁰ Der Bildung der Mutterzelle geht ein Cyclus von Theilungen voraus, welcher mit den Spaltzellen abſchließt, ſo in den Fig. 72, 74, welche einen der complicirteren dieſer Theilungsvorgänge graphiſch darſtellen.

In der Fläche Fig. 74 theilt ſich jede Epidermiszelle durch zwei ſenkrecht zur Ebene der Zeichnung ſtehende Wände. Es entſteht dadurch eine linſencylindriſche Zelle in der Mitte des Complexes. Ein Durchſchnitt

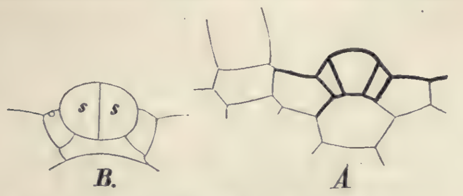


Fig. 72. Aneimia fraxinifolia. *A* Spaltöffnungszellen im Durchſchnitt der Epidermis. *B* ebenſo zur Zeit der Anlegung der Schließzellen.

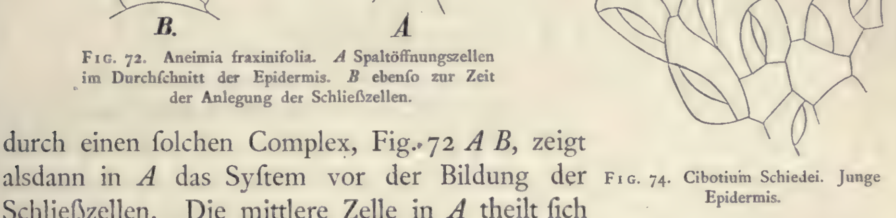


Fig. 74. Cibotium Schiedei. Junge Epidermis.

durch einen ſolchen Complex, Fig. 72 *A B*, zeigt alsdann in *A* das Syſtem vor der Bildung der Schließzellen. Die mittlere Zelle in *A* theilt ſich durch eine letzte Wand in zwei ſymmetriſch geordnete Tochterzellen *s s*, Fig. 72 *B*. Dieſe werden zu den Schließzellen[1]).

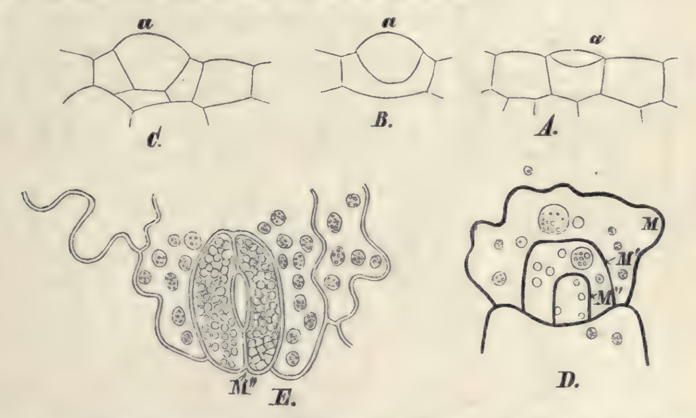


Fig. 73. Aneimia fraxinifolia nach Hildebrandt: Ueber die Entwicklung der Farrenkrautſpaltöffnungen. *A* die Epidermis im Durchſchnitt ſenkrecht zu ihrer Fläche, theilt eine Zelle in *a*. *B* und *C* ſpätere Phaſen von *A*. *D E* Pteris cretica. Die Zelle *M* theilt ſich zweimal, *M'*, *M''*. *E*. *M''* bildet die Schließzellen.

Noch complicirtere Anordnung herrſcht bei Aneimia, Fig. 73 *A* bis *C*. Die Mutterzelle *a* für die Spaltöffnung wird durch eine gewölbte Wand, welche parallel zu der Oberfläche orientirt iſt, abgeſchieden. Sie wächſt,

---

[1]) Aehnliche Zellbildung für die Mutterzelle der Schließzellen kommt bei den Craſſulaceen vor; ſ. Strassburger, Pringsheim's Jahrb. Bd. VII.

wie die ſpäteren Phaſen, Fig. 73 *B C*, zeigen, zu einem tonnenförmigen Raume. Die Mutterzelle bildet dann noch zwei Wände, ſo daß das Syſtem vor der Anlegung der Schließzellen dreizellig iſt. Bei Pteris cretica iſt in der Epidermis ein Convolut von Zellen *M M' M''* entſtanden, Fig. 73 *D*, in der letzten Zelle *M''* entſtehen die Schließzellen. Der Zuſtand des ausgewachſenen Epidermiselementes iſt in Fig. 73 *E* dargeſtellt.

(Bedeutung der Spaltöffnung ſ. § 25 C dieſes Buches.)

§ 12. Theilungen an vegetativen Körpern.

A. Scheitelzellen.

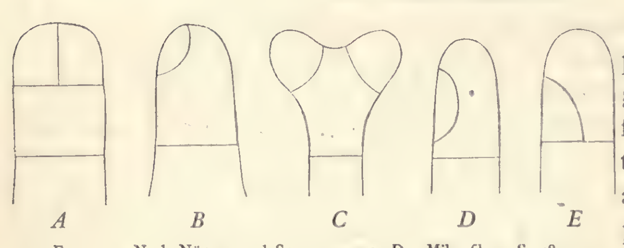


Fig. 74. Nach Nägeli und Schwendener. Das Mikroſkop. S. 589.

Alle Wachsthumsphänomene in reich gegliederten Pflanzen müſſen als Formdemonſtrationen der Plasmamaſſen angeſehen werden. Der protoplasmatiſche Zellinhalt wandert nach den Zuwachsſtellen, nach den Knoſpen, den Scheitelzellen. Der Hohlraum der Zellen wächſt in Folge der Anſammlung und des hydroſtatiſchen Druckes der Flüſſigkeit auf die Wand und es treten neue Wände nach der Streckung der Mutterzelle auf. In dem Zuwachsorte der höheren Pflanzen kann das plaſtiſche Material nicht gebildet worden ſein. Es mußte dorthin als nach den Orten des geringſten Widerſtandes ſtrömen. Neue Zellen werden überhaupt nur angelegt, weil die Pflanze in dieſem Sinne wächſt oder gewachſen iſt.

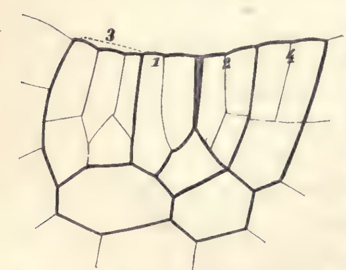


Fig. 75. Metzgeria furcata. Scheitelgruppe.

Die Theilungen in einfachſten Zellenſyſtemen, wie ſie die Fig. 74 darſtellt, bilden einen cylindriſchen Zellenfaden durch wiederholte Querwandbildung weiter. Die am Scheitel ſtehende Zelle bildet die Seitenzweige, dieß kann in verſchiedener Weiſe geſchehen.

A Fig. 74, ſie theilt ſich genau in zwei Hälften, jede derſelben erhält die Function der Mutterzelle. Damit aber erliſcht offenbar deren Verjüngungsvermögen, ſie iſt bei der Theilung in ihre beiden Deſcendenten auf-

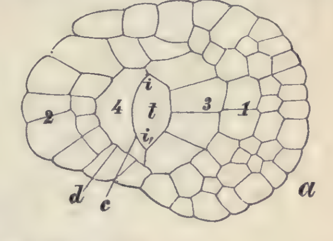
[1]) Nägeli und Schwendener, Das Mikroſkop. S. 589.

gegangen, die urſprüngliche Wachsthumsrichtung geht verloren, wenn beide Zweiganlagen ganz gleich wachſen. Es muß eine ächte Gabelſtellung (Dichotomie) entſtehen.

B Fig. 74. Die Zweiganlage entſteht als eine Tochterzelle von der Geſtalt der kleinen linſenförmigen Zelle. Die Mutterzelle dominirt. Die Hauptwachsthumsrichtung bleibt erhalten. Ebenſo in *D* und *E*, wo die Zelle, welche dem Zweige Urſprung giebt, mehr und mehr vom abſoluten Scheitel entfernt iſt.

C Fig. 74. Endlich entſtehen zwei gleichwerthige Zweiganlagen, ohne daß die Mutterzelle aufgetheilt wird wie *A*. In *D* und *E* aber entſtehen zwei Seitenzweige, ſo daß der Haupttrieb überhaupt gar nicht beeinflußt wird.

An der Spitze der Stämme erfolgt der Zuwachs überall, zunächſt durch Zelltheilung. Je weiter man ſich von dem Scheitel entfernt, um ſo mehr gelangt man in Regionen, wo die Zelltheilung erliſcht oder doch nur auf beſtimmte Orte beſchränkt iſt. Die Geſtalt der Zellen von abſolut unbegrenzter Theilungsfähigkeit *t t* Fig. 76, der Scheitelzellen in Fig. 77 iſt abhängig von den Geſtaltungsvorgängen, welche ſich in ihren Abkömmlingen abſpielen.



So theilt ſich in Fig. 75 der Scheitel des flachen, an dem jüngſten Orte aus einer einzigen Zellſchicht beſtehenden Lagers der Metzgerien, indem die Scheitelzelle den Zellencomplex 4, ſodann den Complex 3, ſodann 2 und endlich 1 bildete; 2 iſt eine jüngere Phaſe von 4 und 3, 1 iſt der jüngſte Zuſtand aller. Der Complex 3 hat ſich aber ſo geſtaltet, daß wiederum eine Scheitelzelle abgeſchieden iſt, welche gerade ſo functionirt, wie ihr Ahne neben dem Segmente 1.

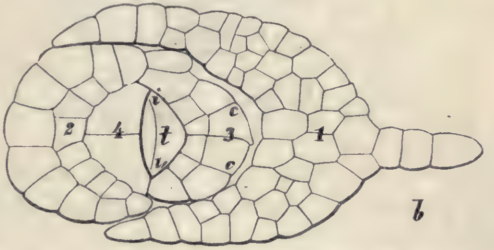


Fig. 76 *a*, *b*. Querſchnitte der Laubknoſpe von Fiſſidens taxifolius.

Nach Hofmeister beſitzen die jungen, eben dem Protonema entſproſſenden Brutknoſpen der Mooſe dreiſeitige Scheitelzellen, welche mit der nachträglichen Beblätterung nach $^1/_2$ Divergenz erſt zweiſchneidig werden. In dieſem Falle geht die Knoſpe aus dem Zuſtande der Figur 77 *B* nach dem Zuſtande der Fig. 76 *b* über.

Das Scheitelwachsthum und die Geſtalt der Scheitelzelle ſind abhängig von den Organen, Blättern, welche die Scheitelregion einſchließen. Es ergeben ſich hieraus ganz beſtimmte Formen. Iſt die Stellung der Blätter $^1/_2$, ſo iſt die geforderte Form eine Linſe mit planer Endfläche. Ein ſphä-

rifches Zweieck, Fig. 76 *a b*, ift die Scheitelfläche. Ift die Stellung $^1/_3$, fo ift die Scheitelfläche genau ein dreifeitiges Dreieck, Fig. 77 *A B*. Ift fie $^2/_5$, $^3/_8$ u. f. f., fo ift der Scheitel ein ungleichfeitiges Dreieck, Fig. 78.

In den Figuren 76 *a b* find die auf einander folgenden Blattquerfchnitte *1*, *2*, *3*, *4* nach der Divergenz $^1/_2$ geftellt und es find alle Theilungen vom jüngften nach dem älteften Zuftande verzeichnet. Das Syftem ift ein durchaus regelmäßiges. Ein Längsfchnitt durch den Scheitel würde die Anficht der Figur 77 *A* liefern. Man erkennt, daß die wechfelnd nach der einen oder andern Seite geneigten Zellenabfchnitte der Scheitelzelle *t* verfchiedenen Etagen an der beblätterten Pflanze entfprechen.

Sollen diefe Etagen nach drei und mehr Richtungen ftehen, foll die jüngfte Zelle, welche der Ahne aller in einer Etage ftehenden Zellen ift, eine Tochterzelle der Scheitelzelle fein, fo muß nothwendigerweife diefe felbft eine dreifeitige Scheitelfläche befitzen, Fig. 77 *B*, 78.

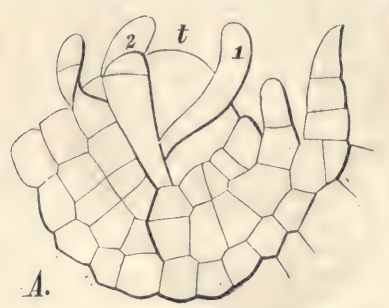


Fig. 77 *A*. Fontinalis antipyrethica. Längsdurchfchnitt der Scheitelregion *t*. Scheitelzelle, vergl. Fig. *B*. 1. 2 die erften blattbildenden Segmente.

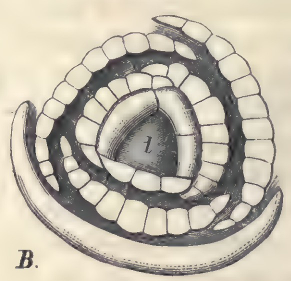


Fig. 77 *B*. Scheitelanficht des vegetativen Stammes von Fontinalis antipyrethica. Die Scheitelfläche ift ein fphärifch-gleichfeitiges Dreieck.

In der Verwandtfchaftsreihe der höheren Pflanzen geht die Scheitelzelle mit von den Charen, Florideen durch die Moofe bis zu den fämmtlichen höheren Cryptogamen.

1⁰ Wächft die Pflanze vorzugsweife an der Spitze, fo daß alle Nebenorgane rafch ausgebildet werden, fo bleibt eine einzige Scheitelzelle als jeweiliger Reft zwifchen zwei auf einander folgenden Theilungen: Algen, Moofe, Farren, Equifeten, (Coniferen, felten Gramineen).

2⁰ Wächft die Pflanze, fo daß die Streckung langfam erfolgt und die Nebenorgane langfam fich entfalten, fo ift der Vegetationspunkt vielzellig und felbft aus complexen Geweben zufammengefetzt, Phanerogamen.

In dem Moosftamm können alle Zellbildungen zurückverfolgt werden bis zu dem einzelligen Segment, *1* Fig. 78, welches foeben von der Scheitelzelle *t* abgefchieden wurde. Die Zahlenreihe *1*, *2*, *3*, *4* gibt die Segmentfolge an. Geht man mit dem rechts verzeichneten Pfeile, fo fchreitet man von *10* nach *9*, nach *8*, alfo vom älteren, beziehentlich unteren Stamm-

theil nach dem jüngeren oberen Stammtheil vor. Geht man mit dem links verzeichneten Pfeil, ſo durchläuft man den Stamm von dem Scheitel nach dem älteren Theile durch die Segmente *1*, *2*, *3*, *4* u. ſ. f.

Bei einer und derſelben Art der Lebermooſe kann, je nach dem Gange des Wachsthums, der Scheitel von einer einzigen Zelle beherrſcht ſein, Fig. 79 *A*, oder es können viele gleichartig functionirende Zellen denſelben einnehmen, Fig. 79 *B*.

In der Fig. 79 *A* iſt *c* die Scheitelzelle. Das Lager iſt zwar an der vorderen Schneide flach, der jüngſte Ort aber nicht eingeſenkt. In der Fig. 79 *B* ſind mehrere Scheitelzellen in der Zelltheilung thätig. Die neuen Wände gehen parallel der vorderen Schneide des Lagers, oder parallel mit der idealen Axe desſelben. Der jüngſte Ort aber iſt eingeſenkt. — Die Farrenkräuter mögen hier noch als Studienobject gewählt ſein. Die Aſpidien zeigen eine einzige Scheitelzelle. *a b c A* und *B*, Fig. 80, die Scheitel, *t*, Fig. 80 *C*, die Durchſchnittsanſicht. Die Theilungsfolge kann

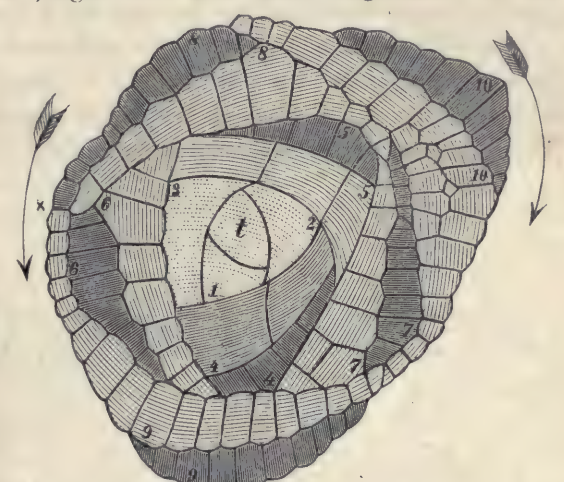


Fig. 78. Polytrichum formoſum. Schema eines Querſchnittes durch den Scheitel des beblätterten Stammes. *t* Scheitelfläche. *1 2 3* u. ſ. f. die Inſertionsflächen der Blätter.

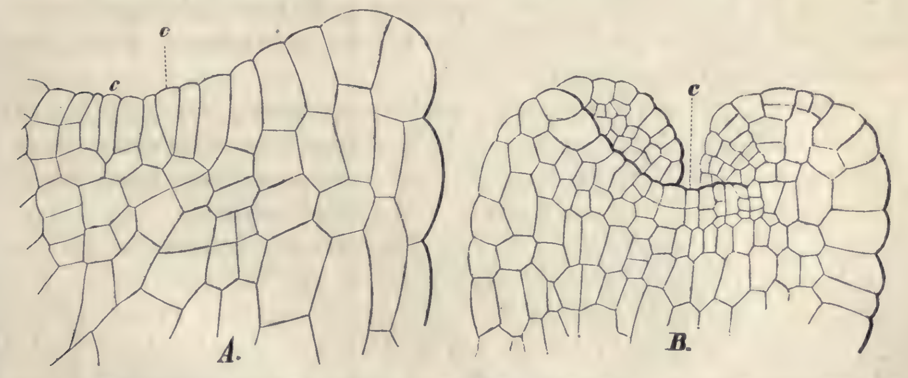
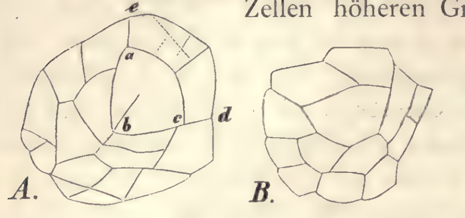


Fig. 79. Vegetationspunkte von Pellia epiphylla. *A* eine einzige Scheitelzelle *c*. *B* mehrere Zellen beherrſchen den Scheitel des Lagers.

im Längsſchnitt auf eine kleine Entfernung *1 2 3 4*, hier auf die Segmentirung in der Scheitelanſicht, Fig. 80 *A B*, zurückgeführt werden. Ebenſo kann

in den Zeichnungen *A* und *B* für zwei bis drei Segmente die Theilung in Zellen höheren Grades verfolgt werden. In weiterer Entfernung von der Scheitelzelle entſtehen raſch und inſtantan über den ganzen Querſchnitt ſo zahlreiche Zellen durch Wände, welche nach allen Richtungen orientirt ſind, daß die Entwickelungsfolge nicht in dem Sinne klar gelegt werden kann, wie in den Figuren 75, 76 und den ſpäteren.



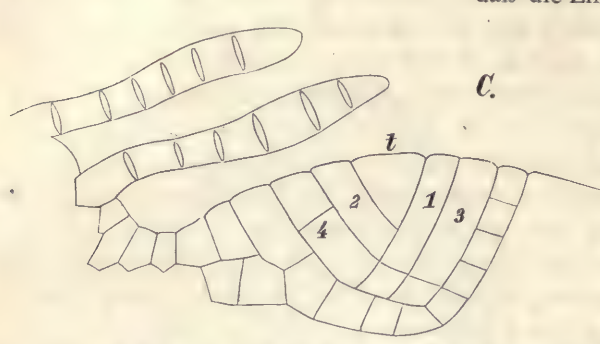


Fig. 80. Aspidium filix mas. *A, B* Scheitelzellgruppe nach der Photographie eines Scalp-Präparates. — *A* Scheitelzellgruppe nach einem Photogramm. *a b c* die Scheitelzelle. *a c d e* die Gruppe von Zellen, welche auf das jüngſte Segment zurückgeführt werden kann. *C* Längsſchnitt durch dieſelbe Knoſpe.

In noch höherem Grade gilt dieß von dem Scheitel der Baumknoſpen, wie überhaupt der Mehrzahl der Blüthenpflanzen. In der ſehr getreuen Abbildung der Scheitelanſicht einer ſolchen Pflanze, Fig. 81, ſieht man im Centrum der Scheitelfläche die theilungsfähigen Zellen *c d*. Die Wände, welche normal zur Fläche der Zeichnung ſtehen, ſind nach allen Richtungen in der Ebene orientirt, kaum läßt ſich nach außen eine radiale Anordnung erkennen. Die Blattanlage läßt ſich nicht bis in den Zuſtand einer einzigen Zelle verfolgen. Sie erhebt ſich als vielzellige Warze[1]).

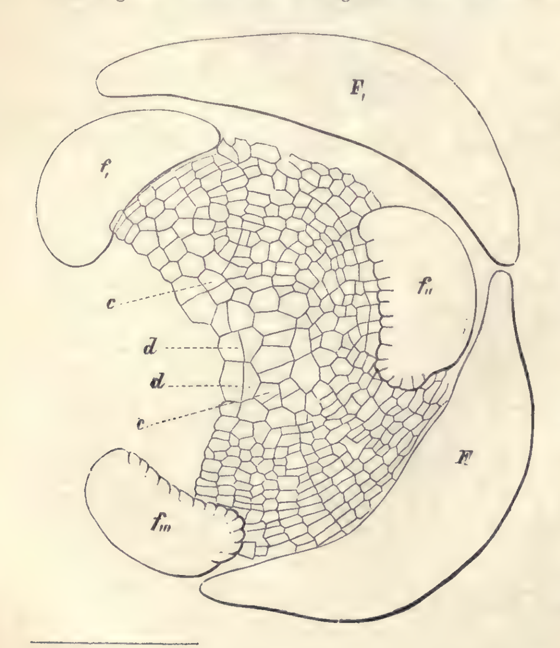


Fig. 81. Scheitelanſicht der Knoſpe von Fraxinus excelſior. *f, f,, f,,,* die jüngſten Blätter des inneren dreigliederigen Wirtels. *F F,* die Blätter des nächſten Wirtels.

[1]) ſ. Allgemeine Morphologie d. Handbuchs II. 2.

B. Theilungen im vegetativen Gewebe (Cambium).

In allen vegetativen Geweben kann die directe Beobachtung des Theilungsvorganges nicht ausgeführt werden. Aus den Wahrnehmungen an Durchſchnitten verſchieden alter Gewebe wird die Entwickelungsfolge erſchloſſen. Nur in der Zuwachsſchicht, insbeſondere der Bäume der holzführenden Pflanzen findet man alle Stadien des allmäligen Uebergangs von der eben entſtehenden Zelle bis zu dem fertig differenzirten und ausgewachſenen Zuwachselement. Aus den Durchſchnitten nach zwei oder drei Richtungen des Raumes wird die Geſtalt und geometriſche Lage der fraglichen Zelle combinirt und der Ort ihrer Entſtehung feſtgeſtellt. Der Aufgaben ſind zwei zu löſen.

1⁰ Die eine iſt eine morphologiſche und phyſiologiſche, inſofern die Vorgänge bei der Theilung im Protoplasma und die Wachsthumserſcheinungen in die Dicke der Membranen ſtudirt werden.

2⁰ Die andere iſt eine ſtereometriſche oder analytiſch-geometriſche, inſofern der Wachsthumsvorgang und die Lage der Zellen, reſp. Gewebe in Raumcoordinaten klar gelegt ſein muß.

Der Gegenſtand gehört ſomit zum Theil in die vergleichende Anatomie, zum Theil in die Morphologie.

Allgemeine Züge laſſen ſich hier nur für die Richtung des Zuwachſes angeben und dieß auch nur für die cambiale Thätigkeit.

Denkt man ſich eine Linie gelegt, welche mit der Wachsthumsrichtung zuſammenfällt, ſo erhalten wir für den Längenzuwachs dieſes Schema für die Generationen der bei höheren Pflanzen neu auftretenden Zellen:

← *a*	o	I	II	III	IV	V
b		2	2	2	2	2
c		4	4	4	4	4
d		8	8	8	8	8
e		16	16	16	16	16
f		32	32	32	32	32
					64	64
						128.

Es möge hierin o die jeweilig jüngſte Zelle bedeuten, ſie liegt im Scheitel der Pflanze oder in deſſen Nähe, ſo hat dieſe abgeſchieden die Zellen I, II in hintereinanderbelegenen Zeitpunkten. Jede dieſer Zellen liegt in verſchiedenem Niveau, V tiefer wie IV, IV tiefer wie III u. ſ. f., jede dieſer Zellen theilt ſich in 2, dieſe 2 in 4, dieſe 4 in 8 u. ſ. f. Wir ſehen der Einfachheit halber davon ab, daß einmal ein Deſcendent der Reihe *b* die Zweitheilung unterläßt, während ſein Altersgenoſſe dieſelbe ausführt,

und erhalten dann für jeden ersten Abkömmling aus der Zelle o eine geometrische Reihe 2, 4, 8, 16, welche für die Längsrichtung begrenzt sein muß, denn offenbar muß einmal ein Zeitpunkt kommen, wo die Descendenten aus V die Theilungsfähigkeit verloren haben. Dieß tritt bei IV später ein wie bei V, bei III später wie bei II u. s. f. Zu gleicher Zeit rückt die Kette V IV III II I o fort nach I-II-III u. s. f., das heißt, es bilden sich stets neue Kettenglieder in die Zukunft, so lange Wachsthum erfolgt.

Liegen nun die Descendenten erster Ordnung o I II III u. s. f. nicht allein unter, sondern auch neben einander in einer gewölbten Fläche des Vegetationspunktes Fig. 80, 81, so werden sie diesen je nach der Intensität der Theilung deformiren, hier und da werden Wölbungen auftreten müssen, kleine Hügel, die Anlagen von Blättern und Seitenzweigen. Erfolgt die Theilung eines Descendenten erster Ordnung I II III hauptsächlich durch Querwände, so wird sich der Vegetationshügel steiler gestalten; liegen aber die Descendenten höherer Ordnung in der Reihe 2 4 8 16 zum größeren Theil in einer Querschnittebene, so wird der Hügel flacher und zuletzt gar eingesenkt.

In den ausgewachsenen Zweigen der perennirenden Pflanzen erfolgt das Wachsthum im Cambiumringe so, daß nach zwei Seiten Descendenten I. Ordnung abgeschieden werden, eine Zellenkette ist dann räumlich und zeitlich geordnet so zu denken:

. . . . VI V IV III II I o, o I II III IV V . . . .,

das heißt, von der alten Zelle im Centrum der Stämme gelangt man zu jüngsten, welche das System in der Richtung VI nach o weiter bilden, jenseits dieser steigert sich wieder das Alter in der Rinde und der Bildungsheerd fällt für Holz und Rinde in o zusammen.



Dritte Abtheilung: Wachsthumserscheinungen der Membran.

Volum und Massenzunahme der Zellwand verlaufen gleichzeitig von dem ersten Auftreten derselben. Der von der Zellwand umschlossene Hohlraum wird größer, weil in der Richtung der Fläche neue Theilchen eingelagert werden. Die Dicke der Wand nimmt zu, weil in normaler Richtung zur Wandfläche neue Theile sich ab- oder einlagern. Wiewohl diese

Vorgänge in der Zeit zuſammenfallen, möge, lediglich der leichteren Ueberſicht halber, zuerſt die Dickenzunahme der Membran betrachtet werden.

§ 13. Dickenwachsthum der Membran[1]).

Alle jugendlichen Membranen ſind frei oder faſt frei von Aſche, in hohem Grade quellungsfähig, ſo daß ſie in Waſſer ihre Feſtigkeit verlieren und einer geſtaltloſen Gallert zuſtreben. Erſt mit der Zeit wächſt die Wanddicke durch Einlagerung von Moleculen der Celluloſe, ſowie der Aſchenbeſtandtheile. Der einfache Contour der jungen Membran wird doppelt. Sehen wir, wie ſchon geſagt, von der Volumzunahme ab, ſo kann die Membran in zwei Richtungen wachſen:

1⁰ Der äußere Contour wird verſchoben, während der innere conſtante Lage behält: centrifugales Dickenwachsthum.

2⁰ Der innere Contour wird verſchoben, während der äußere eine relativ conſtante Lage behält. (Man beachte die Figuren 82, 83.)

A. Centrifugale Verschiebung des äusseren Contours.

Bei den Zellen der Epidermis, bei denjenigen vegetativen Zellen, welche an große Intercellularräume grenzen, endlich bei allen ſpäter frei werdenden

[1]) SCHACHT, *De maculis* (Tüpfel) *in plantarum vaſis cellulisque lignoſis abviis.* 1840. Bonn. Ad. Marcus. — H. v. MOHL, Ueber das Eindringen der Cuticula in die Spaltöffnungen. ſ. H. v. MOHL, Ueber die Cuticula von Viscum album. 593. Bot. Ztg. 49. — H. SCHACHT, Ueber eigenthümliche, bisher noch nicht beobachtete Erſcheinungen in den Verdickungsſchichten gewiſſer Holzzellen. 697. 713. Bot. Ztg. 50. — L. DIPPEL, Beiträge zur Löſung der Frage: Kommt der Zellmembran blos ein Wachsthum von außen nach innen zu, oder beſitzt dieſelbe zugleich ein ſolches von innen nach außen? Bot. Ztg. 51. — TH. HARTIG, Ueber die Wirkung verdünnter Schwefelſäure auf die Ablagerungsſchichten der Zellwand in deren jugendlichſtem Zuſtande. 222. Bot. Ztg. 55. — TH. HARTIG, Bildung der Ablagerungsſchichten. Bot. Ztg. 55. S. 185. — TH. HARTIG, Zur Entwickelung der Spiralfaſerzelle. Bot. Ztg. 55. S. 201. — TH. HARTIG, Ueber die Querſcheidewände der Siebröhren. Bot. Ztg. 55. S. 51. — H. SCHACHT, Ueber die Zellſtofffäden in der vorderen Ausſackung des Embryoſackes von Pedicularis ſylvatica. S. 339. PRINGSH. Jahrb. Bd. III. 1863. — A. STUTZER, Die Rohfaſer der Gramineen. Braunſchweig. Ausbell's Buchdruckerei. 1875. — F. HEGELMAIER, Ueber Bau und Entwickelung einiger Cuticulargebilde. PRINGSH. Jahrb. Bd. IX. S. 286. — TH. HARTIG, Ueber die Entwickelungsfolge und den Bau der Holzfaſerwandung. Sitzungsber. d. K. Acad. d. Wiſſenſch. Bd. LXI. I. Abth. Mai 1870. — A. MILLARDET, *Notice pour ſervir à l'hiſtoire du développement en épaiſſeur des parois cellulaires. Annales des ſciences naturelles.* — L. ROSANOFF, Ueber die Kryſtalldrüſen im Marke von Kerria japonica DE CAND. und Ricinus communis. 329. (392.)

Pollen- und Sporenzellen, treten locale Erhebungen von Zellſtoff, Warzen, Stacheln, Leiſten auf, welche bei der Entſtehung nicht vorhanden waren, Fig. 82, 83, und es ſpaltet ſich die Membran in zwei optiſch und chemiſch differente Platten, die Exine und die Intine. Erſtere wiederſteht dem Eingriff der engliſchen Schwefelſäure, letztere nicht. In den Durchſchnitten durch Pollenkörner, Fig. 82, 83, ſind örtlich verdünnte Stellen in *A B C* abwechſelnd mit dorn- oder kegelförmigen Hautvorſprüngen. Bei dem Kürbis, Fig. 83 *A*, entſpricht eine kreisförmige Klappe der Exine *K* einem centripetal örtlich verdickten Wulſt *K'*. Die Klappe wird abgeſtoßen, der Wulſt der Intine wächſt zum Pollenſchlauch aus, Fig. 83 *B*.

Die Epidermis der höheren Pflanzen verhält ſich ähnlich, beſonders lehrreich ſind die ledrigen immergrünen Blätter. Hier differenziren ſich[1]) die Intine *a b c d*, Fig. 84, die Exine, welche in Cuticularſchichten *C* und ein dünnes ſtructurloſes Häutchen zerfällt, die Cuticula *c*, Fig. 84.

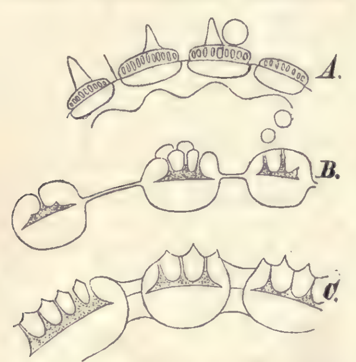


Fig. 82. (Schacht über den Bau einiger Pollenkörner. Pringsh. Jahrb. II. S. 109.) *A. B. C.* Durchſchnitt der Pollenkörner von: *A* Lavatera trimeſtris. *B* Nyctago longifolia. *C* Nyctago longifolia in Schwefelſäure[1]).

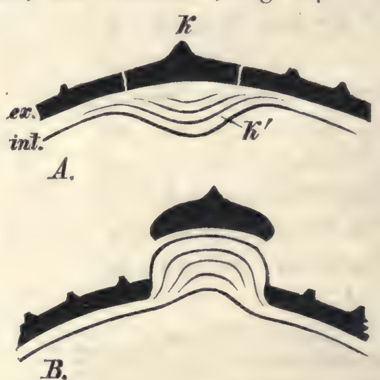


Fig. 83. Cucurbita Pepo. Durchschnittspartie durch das Pollenkorn. *ex.* Exine. *int.* Intine. *K* Deckel. *K'* Verdickung der Intine. In *B* treibt ſoeben die Intine, den Deckel wegſchiebend, den Pollenſchlauch.

Bei der Miſtel zeigte von Mohl, daß jene Cuticularſchichten ſelbſt wieder in Schalen verſchiedenen Waſſergehaltes (verſchiedener Dichte) zerfallen, Fig. 85. In dem Convolut *III* iſt einmal die Zelle *I* ein Convolut der nächſten Ordnung, das innere Convolut der Zellen *II* iſt nochmals zuſammengeſetzt. Eine Differenzirung, welche ſpäter beſprochen wird.

Die Cuticularſchichten und die Cuticula überziehen die Pflanzentheile als homogene Membranen.

B. Centripetale Verschiebung des inneren Contours.

I. Abrundung des Lumens in centripetaler Richtung.

Zu den bemerkenswerthen allgemeinen Zügen der hier einſchlägigen Erſcheinungen gehören:

---

[1]) Schacht, Lehrbuch der Anatomie und Phyſiologie der Pflanzen.

1⁰ In allen vegetativen Geweben verſchmelzen bei der Bildung neuer Zellen zwei Lamellen halb flüſſig plaſtiſcher Subſtanz zu einer im Beginne homogen erſcheinenden, außerordentlich dünnen Membran. Die Zellen ſind nach allen Richtungen von Nachbarn umgeben (von der freien Außenfläche iſt hier abgeſehen). Dieſe Lamelle iſt ſomit je zwei Zellen gemeinſam zugehörig, wie die Wandmauer zwiſchen zwei Wohnräumen.

2⁰ Geht dieſe Membran aus dem Zuſtand mit einfachem Contour durch Maſſenzunahme in denjenigen über, wo ſie mit doppeltem Contour erſcheint, ſo kann dieß nur geſchehen, indem der innere Contour in centripetaler Richtung nach dem Mittelpunkt des Zellenlumens verſchoben wird.

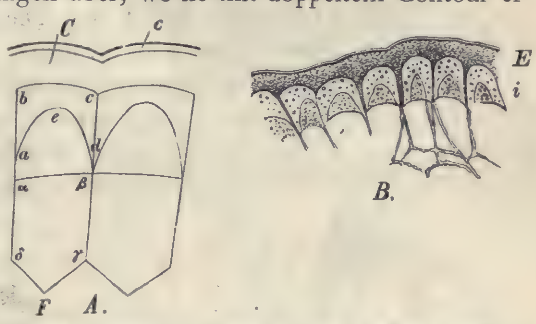


Fig. 84. Durchſchnitt durch die Epidermis von Aloë obliqua. *A* ſchematiſche Darſtellung. *B*, nach einem Photogramme für *A*, bedeutet *c* die Cuticula. *C* die Cuticularſchichten (nach der Bezeichnung von Schacht). *a b c d* die Celluloſemembran, eine meniskenförmige Haut. α β γ δ und *a e* der Hohlraum der Zelle. In *B* iſt *E* die Exine (zuſammengeſetzt aus den Cuticularſchichten und der Cuticula) und *i* die Intine.

3⁰ Bei dem Dickenwachsthum häuft ſich, abgeſehen von auffälligeren Structurverhältniſſen, ganz allgemein die Maſſe vorzugsweiſe in den Winkeln, Kanten und Ecken, Fig. 86, 87, ſo daß die planen Wandareale weniger, die

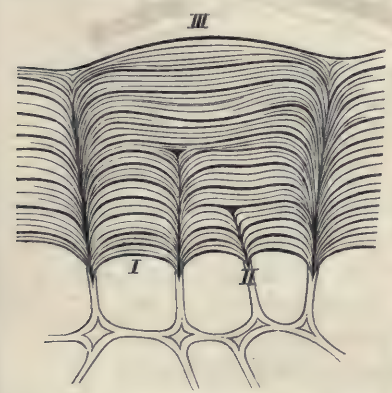


Fig. 85. Cuticularſchichten. Man unterſcheidet ein allen drei Zellen gemeinſames Convolut *III*, ein ſolches für zwei Zellen *II* und ein ſolches für eine einzige Zelle *I* [1]).

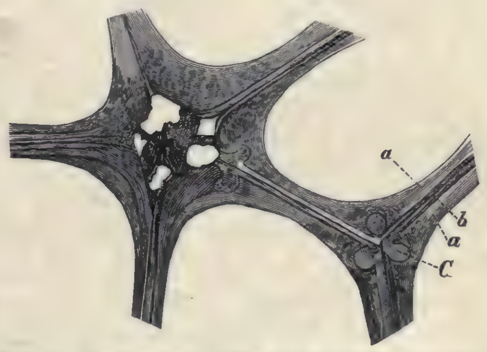


Fig. 86. Pteris aquilina. Kleine Partie aus dem Querſchnitt des Gefäßbündels des Stammes. Die Membran erſcheint in 3 Schichten *a a* und *b*, die ſogenannte primäre Membran differenzirt. In dem Vereinigungspunkt dreier Zellen liegen drei eigenthümliche ſtark lichtbrechende Maſſen *C* in der Zellwand eingeſchloſſen, die Reſte der durch die Gefäßzellen bei ihrem Heranwachſen comprimirten Nachbarn.

Winkel, Ecken und Kanten mehr verdickt werden. Das Lumen ſtrebt dadurch einem Kreis, einer Ellipſe u. ſ. f. zu. Die ſcharfen Kanten, Ecken

[1]) H. v. Mohl, Ueber die Cuticula von Viscum album. Bot. Ztg. 1849. Nr. 33.

und Winkel des Hohlraumes werden ausgeglichen, indem die beiden inneren Contouren nach dem Mittelpunkt der zwei Zellen zu ſtreben, Fig. 87 *B.*

Dieſe ungleiche Verdickung findet ſich ſchon in dem jugendlichen Gefäßbündel Fig. 87 *B.* Auch in den ſtark quellenden Pollenmutterzellen der Phanerogamen iſt die ſonſt zarte Zellmembran ungleichmäßig verdickt, Fig. 87 *A.* In den ausgewachſenen Gefäßen von Pteris, Fig. 86, iſt die Wand differenzirt in zwei Platten *b*, beiderſeits die nachträgliche Verdickung *a*, in den Kanten *C* finden ſich drei, beziehungsweiſe ſo viele eigenthümlich ſtärker lichtbrechende Celluloſeausſcheidungen, wie Zellen in der Kante vereinigt ſind.

II. Ungleiche Wandverdickung[1]).

In dem Collenchym, einer Gewebeform unter der Epidermis der Rinde der höheren Gefäßpflanzen, Fig. 88 *A, B,* iſt die Verdickungsmaſſe nur in den Ecken abgelagert. In den Kernſcheiden der Irisarten, Fig. 88 *C,* werden die in einen Ring geſtellten Zellen der Kernſcheide nur an den drei Innenſeiten verdickt, die Außenſeite bleibt unverdickt. Die Schichten brechen an dieſer Seite ab. In der Fig. 88 *C* ſind die conſecutiven Schichten ſchematiſch dargeſtellt für einen mittleren Zuſtand der Verdickung. Sie beſtehen aus wechſelnd lockerer, waſſerreicher und dichter waſſerarmer Membranſubſtanz. Im jüngeren Zuſtande iſt die Verdickung ſchwächer und die Schichten verſchiedener Dichte ſind noch nicht differenzirt. Zu den auffälligſten Verdickungen im vegetativen Gewebe gehören die kegelförmigen Einſtülpungen der Wand in dem Chlorophyllgewebe der Pinusnadeln, Fig. 88 *D.* Dieſelben ſind hohl, wie in der Figur an der rechten abgeſchnitten gezeichneten Zelle dargeſtellt iſt.

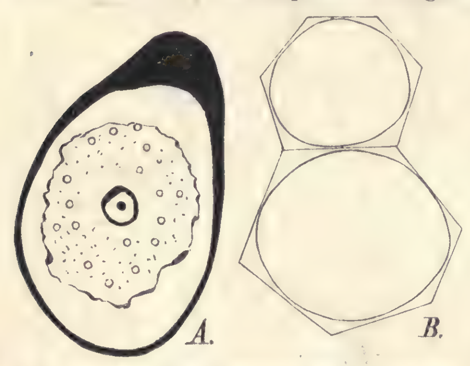


Fig. 87. *A* Iris pumila. Pollenmutterzelle, ſchematiſch. *B* junge Gefäße aus dem Gefäßbündel von Pteris aquilina, ſchematiſch.

III. Zellſtoffbalken und in centripetaler Richtung vorſpringende Leiſten.

1⁰ An ganz beſtimmten Orten treten Leiſten oder Warzen in centripetaler Richtung auf, während die größere Fläche relativ wenig verdickt wird.

2⁰ Oder es differenziren ſich quer durch den Hohlraum ausgeſpannte Fäden von Celluloſe (Zellſtoftbalken) aus dem Protoplasma. Caulerpa. Fig. 89.

---

[1]) Studienobjecte: Collenchym, eine Gewebeart, welche durch ihre Verdickungen kenntlich wird in der primären Rinde der krautartigen Phanerogamenpflanzen. Kernſcheide: die Kernſcheide der Monocotylenwurzel, insbeſondere der Irideen, Smilaceen, Gramineen.

3⁰ Solche Fäden bilden ein vielverzweigtes Netzwerk, welches einem eben ſolchen, vorher beſtehenden Stromſyſtem von Protoplasmafäden entſpricht.

4⁰ Die vorſpringenden Leiſten oder Stacheln ſind Einſtülpungen der Membran und in der Mitte ausgehöhlt bei den Meſophyllzellen der Kiefernadeln. Fig. 88 *D*.

A. Zellſtoffbalken der Caulerpa[1]).

Die Structur dieſes intereſſanten Studienobjectes zeigt im Weſentlichen dieſe Züge: Die cylindriſche Membran iſt in zwei optiſch und der Dichte nach verſchiedene Lamellen differenzirt. Eine äußere dünnere *e* und eine innere dickere, *i*, beide ſind geſchichtet. Von der äußeren entſpringen cylindriſche Zellſtofffäden, welche in der Fig. 89 zum Theil

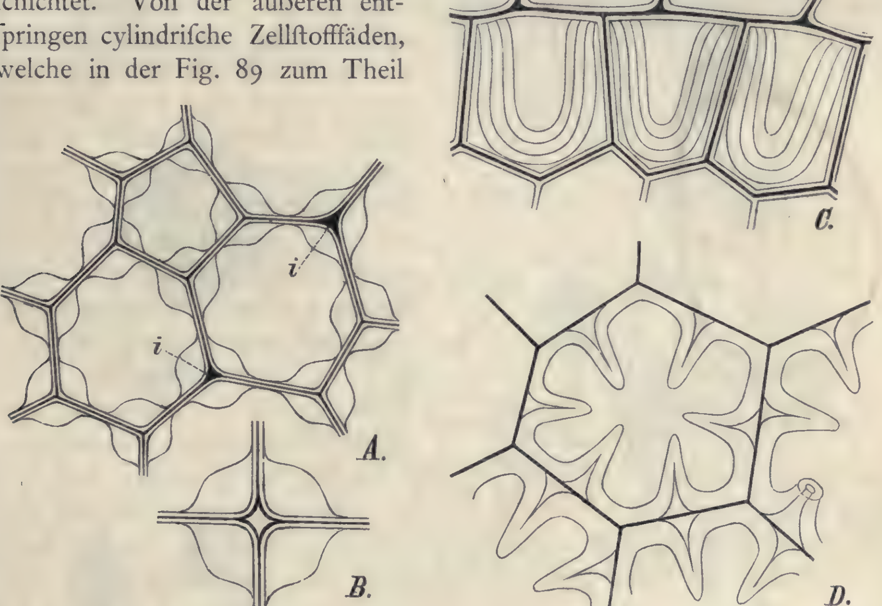


Fig. 88. *A* Querſchnitt durch das Collenchym im Stamme von Canna indica. *i i* die Intercellularen. *B* die Verdickung in einer Kante, in welcher vier Zellen ſich berühren, ſtärker vergrößert. *C* Iris pumila. Querſchnittsparthie aus der Wurzelkernſcheide. *D* Zellen aus dem Chlorophyllgewebe der Pinus Laricio.

quergeſchnitten ſind bei *α*. Die Schichten ſolcher Fäden ſtehen mit den zahlreichen Schichten der Intine *i*, Fig. 89, nicht in Verbindung, ſo daß dieſe von dem Faden unterbrochen werden. Der Faden durchſetzt mit ſeiner geringeren Schichtenzahl das Convolut der Wandſchichten ſo, wie ein Trockenaſt der Fichte die Jahreslagen des Stammes durchſetzt.

---

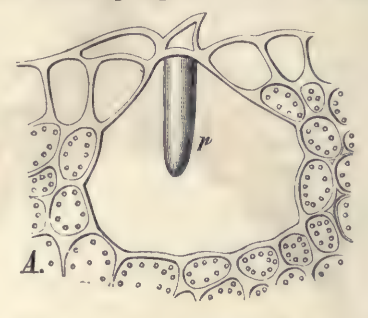
[1]) Zellſtoffbalken und Leiſten: Caulerpa, Stammzelle. Veronica und Pedicularis im Endoſperm. Wurzelhaare der Riccien und Marchantieen.

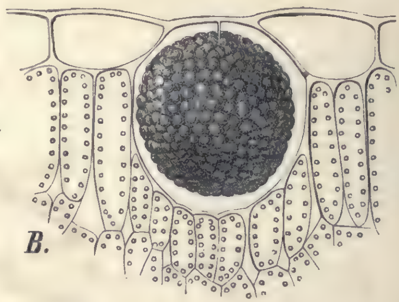
B. Cyſtolithe [Steinkammern][1]).

In zerſtreut zwiſchen und unter den Epidermiszellen belegenen größeren Zellen der Urticaceen, Ficus, Parietaria, Pilea entſtehen örtliche Zellſtoffverdickungen. Gleichzeitig lagert ſich kohlenſaurer Kalk zwiſchen die Membranlamellen derſelben ab. Der Kalk kryſtalliſirt in größeren Kryſtallen, ſo daß dieſelben traubenförmige Ausſtülpungen über den äußeren



Fig. 89. (Schacht über Zellſtofffäden. Pringsheim's Jahrb. Bd. III. S. 339.) Caulerpa prolifera. Querſchnittsparthie der Stammzelle.





Contour der Cyſtolithe treiben, Fig. 90 *A*, *B*. Bei der Behandlung der Durchſchnitte mit verdünnten Säuren wird das Kalkſalz zerſetzt, die Kohlenſäure entweicht in am Mikroſkop ſichtbaren Gasblaſen. Der Cyſtolith ſinkt merklich zuſammen und zeigt nach der Entfernung der Kryſtalle eine deutliche concentriſche Schichtung in Schalen verſchiedener Dichte. Das Schichtenſyſtem iſt auch in radialer Richtung in gleichem Sinne differenzirt. (Eine genauere Darſtellung dieſer Structur findet ſich in den botan. Wandtafeln von Kny.)

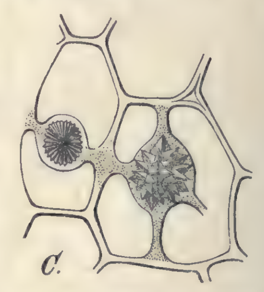


Fig. 90. Cyſtolithe von kohlenſaurem Kalk aus dem Blatte von *A* Ficus montana, *B* Parietaria nach A. Weddell, *C* Zellſtofffäden mit Druſen von oxalſaurem Kalk in dem Marke der Kerria japonica, nach Rosanoff.

[1]) Cyſtolithe wurden zuerſt von Meyen 1827 entdeckt, ſodann Payen. *Ann. d. ſc. nat. 1854*. M. *et* A. Weddell, *ſur les cyſtolithes*.

Von noch auffälligerer Form ſind die Cyſtolithe von Pilea, Fig. 91. Sie ſtellen im Querſchnitte des Blattes, Fig. 91 *A*, Hufeiſen oder ſichelförmige Wucherungen dar mit dichter Einlagerung der mikroſkopiſchen

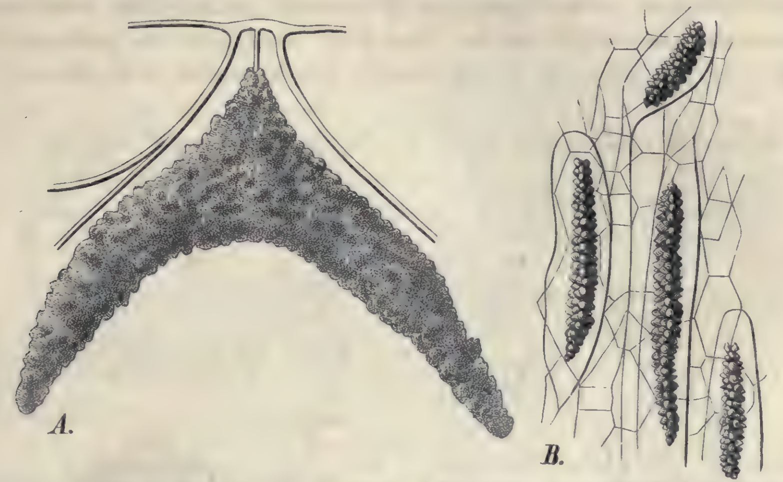


Fig. 91. *A* Cyſtolith im Blatte einer Pilea (denſiflora). *B* Pilea decora. Tangentialſchnitt durch das Blatt.

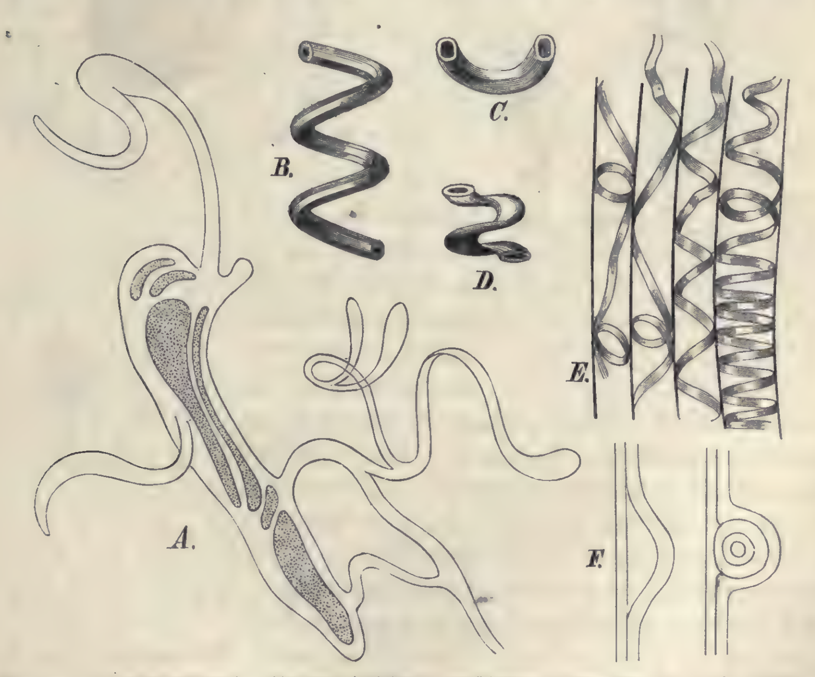


Fig. 92. *A* Equiſetum hyemale. Abnorme Ausbildung der Elateren. Sanio. Bot. Ztg. 57. S. 657 ff. *B* Schraubenband von Mammillaria dolichocentra. *C* Parthie eines Schraubenbandes von Echinocactus Courantii. *E* Spiralzellen aus der ſogenannten Kernſcheide des Holzes der Abietineen. *F* optiſcher Durchſchnitt eines Schraubenbandes.

Kryſtällchen. Im tangentialen Durchſchnitt erſcheinen ſie, Fig. 91 *B*, als Kryſtallſpindeln.

Rosanoff fand in dem Marke der Kerria japonica, Fig. 90 *C*, Zellſtofffäden, welche von einer zur anderen Wand quer durch den Zellenraum ausgeſpannt ſind. In örtlichen Verdickungen lagern ſich hier Kryſtalle von oxalſaurem Kalke ab, in der Weiſe, daß die Prismen alle um einen Punkt radial geordnet erſcheinen. Die in dem Sphäroïd belegenen Kryſtallflächen ſind wie in einer Kryſtalldruſe nicht ausgebildet, und nur die Pyramidenflächen, welche über der äußeren Begrenzung des morgenſternförmigen Kryſtallcomplexes hervorragen, ſind mehr oder weniger normal ausgebildet.

IV. Centripetale Verdickung, Schrauben und Ringe[1]).

Man kann dieſe Verdickungen vielleicht ſo definiren: der größere Theil der Zellenwand bleibt verhältnißmäßig weniger verdickt, während an beſtimmt umſchriebenen, ring- oder ſchraubenförmig geordneten Stellen die Verdickung eintritt. Ein Theil dieſer Gebilde wird ſehr wahrſcheinlich auf Faltungen der

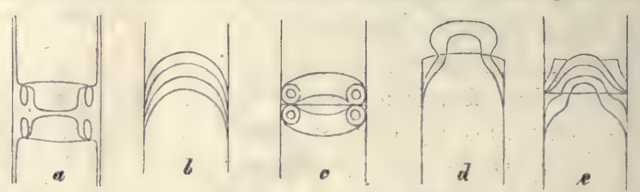


Fig. 94. Querſcheidewände im vegetativen Faden der Conjugaten.

jungen plaſtiſchen Membran zurückgeführt werden können.

G. H.

Fig. 93. Ringzellen von Mamillaria quadrispina[2]).

Das Spiralband Fig. 92 *A* aber ſtammt nach der Entwickelungsgeſchichte der Equiſetenſporen aus der kugelichen Hülle der Specialmutterzelle (ſ. Sanio a. a. O. und oben S. 57).

Bei den Conjugaten iſt die Querwand in einer und derſelben Art, ja in einem und demſelben Faden in der verſchiedenſten Weiſe gegliedert. In *a*, Fig. 94, ſind von beiden Zellen her trichterförmige Vertiefungen und eine ringförmige Stelle der Verdünnung. In *b* iſt die Wand nach der einen Seite meniskenförmig mit zahlreichen Schichten. In *c* iſt die ſogenannte primäre Wand plan mit zwei Zellſtoffringen, die im Innern weniger lichtbrechend (hohl?) ſind. In *d* und *e* ragen mehrfach geſchichtete Kappen in das Lumen des angrenzenden Zellengliedes.

---

1) Studienmaterial: Holzkörper der Laubbäume. Markſcheide der Coniferen. Holz von Taxus baccata. Wurzelrinde der tropiſchen Orchideen (Epidendron u. a. m.). —

2) Trécul, *form. ſec. d. l. cell. végét. Ann. d. ſc. 1854.*

V. Porenkanäle[1]).

An beſtimmten kreis- oder ſpaltenförmigen Orten unterbleibt die Verdickung, während ſie in den größeren Theil der Membranfläche vorſchreitet; es entſtehen cylindriſche, linſencylindriſche oder coniſche einfache oder verzweigte Porendurchgänge, welche mit ihrer Längsaxe ſenkrecht zur Membranfläche orientirt ſind und, wenn ſie von einem zum Nachbarzellenraum zuſammentreffen, im Beginn durch die primäre Membran getrennt ſind. Fig. 98.

A. Der einfache Porus.

Das vegetabiliſche Elfenbein (das Endoſperm von Phytelephas makrocarpa) zeigt die Zellen außerordentlich ſtark verdickt. Von dem Lumen der Zelle gehen ſchmale cylindriſche Kanäle nach der primären Membran, wo ſie umbiegen und blind endigen, Fig. 95. Die Porenkanäle ſtellen ſomit eine Communication zwiſchen den zwei Zellen nicht her. Die ſchraffirte Wand unſerer Zeichnung, Fig. 95 rechts, iſt von gleichmäßiger Dichte und außerordentlich ſtark lichtbrechend. Man erkennt am Mikroſkop ſoeben noch die primäre Membran, welche oben rechts in einer Kante auf den Membranplatten von vier anderen Nachbarzellen zuſammentrifft. Die einfachen Poren communiciren dadurch, daß die primäre Membranplatte endlich reſorbirt wird, ſo in dem Holz der Laubbäume, in dem Mark und zahlreichen anderen Gewebeformen.

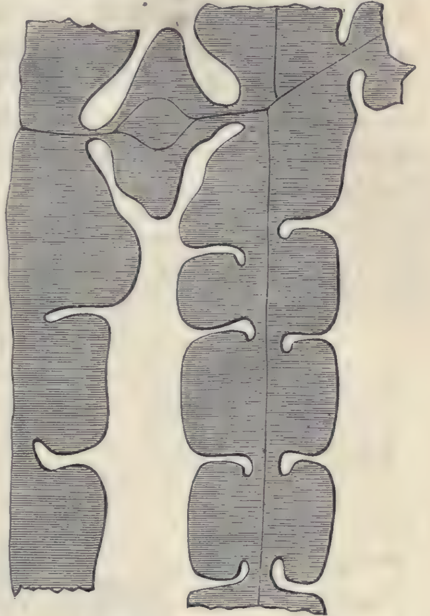


Fig. 95. Phytelephas makrocarpa.

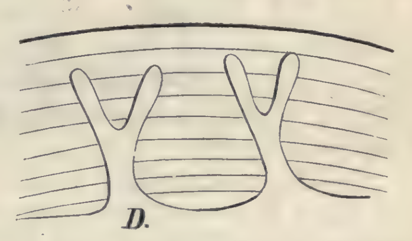


Fig. 96. Verzweigte Poren aus dem Endoſperm der Arecapalme.

B. Der verzweigte Porus.

In dem Endoſperm anderer Palmen, z. B. der Areca artens, unterbleibt die Verdickung an mehreren Stellen, im Verlaufe des Dickenwachs-

[1]) Studienmaterial: die Nadel- und Laubhölzer, Caſſytha filiformis der Stamm, Cinchona Baſtzelle, Paranuß die Schale, Endoſperm von Phytelephas makrocarpa und viele hornartige Endoſperme der Monocotylen Siebröhren der Rinde, insbeſondere der Rinde älterer Ulmen.

thums werden die entſtehenden cylindriſchen Poren ſo angelegt, daß ſie convergiren und ſich ſchließlich in einen einzigen Porengang vereinigen. Fig. 96. Um dieſen Vorgang zu verſtehen, muß man beachten, daß der innere Contour nur in centripetaler Richtung vorrücken kann und daß in beſtimmter Phaſe des Dickenwachsthums an Stelle des verzweigten Porus *D*, Fig. 96, in der That zwei convergente Porencylinder vorhanden waren.

C. Der Nadelholz-Tüpfel (behöfte Poren).

Die Flächenanſicht der radial geſtellten Zellwand im Holze der Coniferen zeigt eine Reihe größerer Kreiſe, Fig. 98 links. In jedem der Kreiſe befinden ſich ein bis zwei kleinere concentriſche Kreiſe. Der Durchſchnitt ſenkrecht auf dieſe Ebene zeigt dieſe behöften Poren, Tüpfel, als Linſenräume, in welche von beiden Seiten zwei kleine cylindriſche Poren einmünden. Dieſelbe Anſicht muß ſelbſtredend im Querſchnitt durch die Holzzelle gewonnen werden. Fig. 97 *A C*. Die Entwickelungsgeſchichte der Nadelholztüpfel wird durch die Fig. 98 klar. Die im Durchſchnitt gezeichnete Wand rechts zeigt vier Tüpfel in verſchiedener Phaſe der Entwickelung, oben den jüngeren, unten den älteren Zuſtand. Es geht hieraus hervor, daß in der gegebenen Wand die Verdickung von einer kreisförmig umſchriebenen Stelle unterbleibt. Der innere Contour rückt beiderſeits, man vergleiche die Querſchnitte Fig. 97 *A C*, in centripetaler Richtung vor, verengt aber allmälig jene kreisförmige Stelle. Die Projection der conſecutiven Linſenräume auf die dazu ſenkrechte Ebene der Flächenanſicht muß daher eine Verſchiebung des inneren Kreisumfanges ergeben. Hierbei wird dieſer verengt, bis die endliche

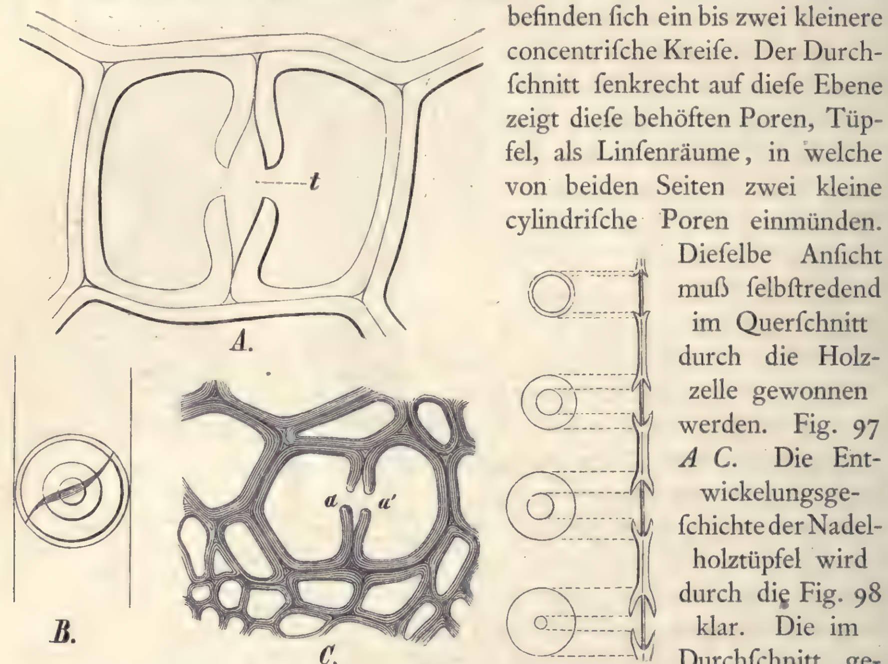


Fig. 97. *A* und *C* Caſſytha laurifolia. *A* Querſchnitt zweier Zellen, welche einen behöften Tüpfel *t* beſitzen, ſchematiſch. *C* Querſchnittparthie des Gefäßbündels. *a a'* die Begrenzung des inneren Porenganges. *B* Pinus ſylveſtris. Schematiſche Anſicht des Tüpfels mit einem Spaltenporus.

Fig. 98. Entwickelung des Nadelholztüpfels, links die Flächen, rechts die Durchſchnittsanſicht der Wand.

Weite der zwei Porengänge erreicht ist[1]). Bei diesem, durch den Vergleich der Kreis- und Durchschnittsansichten in Fig. 98 veranschaulichten Wachsthumsvorgang müssen die endlich entstehenden engeren Poren nicht immer Cylindergestalt erhalten, die Verengung kann auch mit der Bildung eines Spaltes, Fig. 97 *B*, abschließen. Solche Spalten laufen parallel mit den Schichtendurchgängen der Areolen des Membranelements (s. § 14).

Die allmälige Verengung des Porendurchganges, beziehentlich die Erweiterung wiederholen sich in einer und derselben Membran bei den Cycadeen. Bei Caryota urens, Fig. 99 *A C*, ist in *C* der Querschnitt einiger Holzzellen dargestellt. Die Poren sind bald weiter, bald enger bei, im Allgemeinen, radialem Verlauf.

In *A* ist der Durchschnitt eines Porus mit dreimaliger Verengung, beziehentlich Erweiterung seines lichten Raumes. An einigen Orten in *C* finden sich tangential gestreckte Lücken, hier unterblieb die Verdickung, dann trat sie für dasselbe Element wieder ein. So entstanden Porengänge, welche in der Längsrichtung (man sehe Fig. 99 *B*) die Membran in schraubenliniger Richtung unterbrechen. Diese Lücken aber führen nicht zu einer Communication zwischen zwei Zellen. In einer und derselben Membranplatte können diese der Caryota eigenthümlichen Porengänge in zwei verschiedenen, hintereinander belegenen Ebenen im Sinne einer rechts und einer links gewundenen Schraube angeordnet sein.

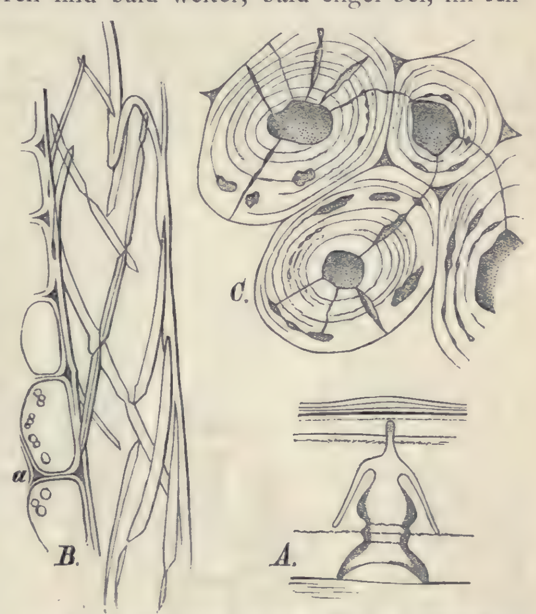


Fig. 99. *A.* Caryota urens. Membranelement mit erweiterten und verengten Poren. *B* Hernandia sonora. Holzzelle mit schraubenlinig geordneten Spaltenporen. *C* Caryota urens. Querschnittsparthie der Holzzellen [2]).

D. Schraubenlinige Poren.

In der steinharten Samenschale der Bertholletia kommen ähnliche, aber noch viel verwickelter gebaute Poren vor. Ein cylindrischer oder in

[1]) Dr. Th. Hartig, Ueber die Schließhaut des Nadelholz-Tüpfels. 293. Bot. Ztg. 63.

[2]) Schacht, Bot. Ztg. 1850. Ueber eigenthümliche u. s. f. Erscheinungen in den Verdickungsschichten der Holzzelle. — Millardet über die spiraligen Poren in der Samenschale der Bertholletia. *Ann. sc. IV. 34.*

Mäandern verlaufender Porengang kann nochmals von ſpiralig oder ſchraubenlinig gewundenen Poren in abenteuerlicher Weiſe umkreist ſein.

E. Leiterförmige Gefäßquerwände.

Die Querwände der Gefäße und Tracheïden ſind durchbrochen durch einen Porus, Fig. 100 *B C E*, welcher in gleichem Sinne im Weſen der Sache zuerſt als eine ſchwächer verdickte Stelle auftritt, oder es entſtehen

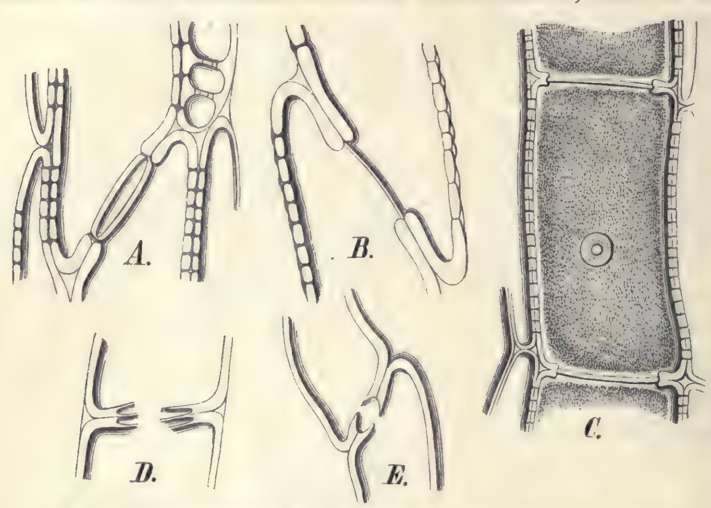


FIG. 100. Gefäßquerwände *A*, *B*, *C* im optiſchen Durchſchnitt. *C* Gefäßzelle [1]).

zahlreiche, durch leiterſproſſenartig geordnete Verdickungsſtellen getrennte Spaltenporen, ſo bei Alnus, Corylus u. a. m.

Die Längswände der Gefäßelemente ſind in gleicher und für die Art mehr oder weniger conſtanter Weiſe ungleich verdickt in Schrauben, Ringen, Treppen, Poren oder, wie Fig. 101 demonſtriren, noch in netzförmig geordneten Bänderſyſtemen, in welchen Linſen oder kreisförmige Unterbrechungen mit verzweigten Zellſtofffäden abwechſeln.

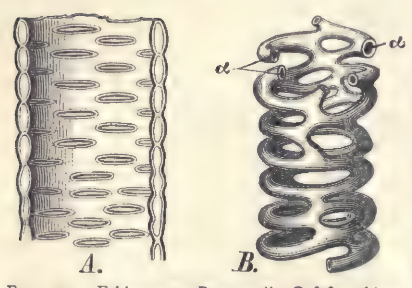


FIG. 101. Echinocactus Brognartii. Gefäßparthieen. In *A* optiſcher Durchſchnitt der Membran. *B* Netzwerk der Verdickung. In α hohl dargeſtellte Zellſtoffbalken [2]).

F. Siebporen.

In der Rinde der dicotylen Bäume und im Cambiforum der krautartigen Gewächſe befinden ſich cylindriſche, in continuirlichen Ketten über-

[1]) DIPPEL, Botan. Ztg. 60.

[2]) TRÉCUL, *Ann. de ſc. nat. IV.* 20. S. 273.

einander geordnete Zellen, welche der Translocation der Nährkörper dienen, die Leitzellen. Die Querwände derſelben ſind durchbrochen mit zahlreichen Poren, Fig. 102 *C*. Die Längswand des Cylinders iſt zunächſt bedeckt mit fenſterartig verdünnten Arealen, welche durch leiſtenförmige Stellen örtlich ſtärkerer Verdickung getrennt ſind. Die Fenſter ſind nochmals durch außerordentlich feine und entſprechend der Dünne der Fenſterwand kurze Porengänge durchbohrt oder verdünnt.

Dieſe Siebporen werden am beſten in der älteren Rinde erwachſener Ulmen ſtudirt. Die feinen Poren in der Längswand ſind wahrſcheinlich nicht wirkliche Durchbrechungen, ſondern blos nochmalige Verdünnungen der an ſich ſchon ſehr feinen Membranlamelle des Fenſters.

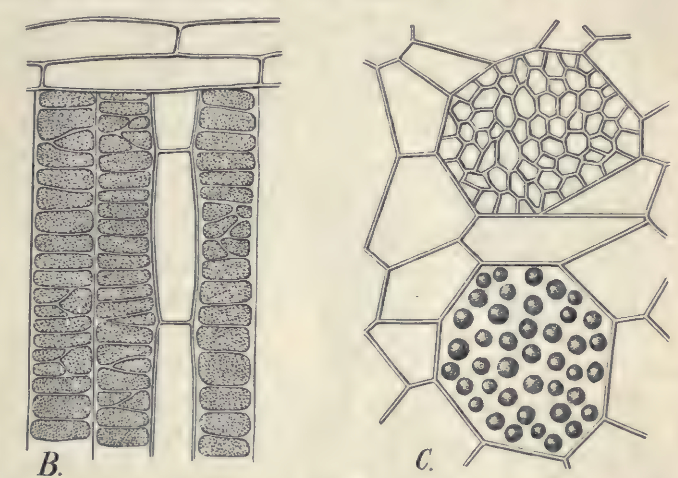


Fig. 102. *A* Cucurbita Pepo. Querwände der Leitzellen nach v. Mohl. *B* Flächenanſicht der Wand einer Siebröhre aus der Ulmenrinde [H. v. Mohl][1]). *C* Pyrus communis. Rindenparthie mit Siebröhren im Querſchnitt nach v. Mohl.

Für die Poren der Querwände aber, welche die Communication capillarer Flüſſigkeitsſäulen in der Längsrichtung vermitteln, iſt der Nachweis geliefert, daß ſie wirklichen Durchbrechungen der Membranplatte entſprechen. Fig. 102 *C*.

VI. Combination aus IV und V.

Schraubenverdickung und Poren in derſelben Membranfläche.

In einer und derſelben Lamelle der Gefäße oder Tracheïden kommt die örtliche Verdickung in Schrauben- oder Leiſtenform vor, während die weniger verdickten, zwiſchen den Schraubenbändern belegenen Membranflächen behöfte Tüpfel führen, z. B. bei der Linde. Der Vorgang der

[1]) von Mohl, Botan. Ztg. 1855. S. 373 ff.

Entſtehung kann nur ſo gedacht werden: die Membran wächſt in die Dicke einmal und zuerſt im Sinne der Kiefernholzzelle; wenig ſpäter, nachdem die von Poren durchſetzten Membranelemente differenzirt ſind, unterbleibt das Dickenwachsthum an allen Stellen, mit Ausnahme derjenigen, wo ſpäter die Schraubenbänder differenzirt erſcheinen.

VII. Intercellularsubstanz und sogenannte primäre Membran.

In den Geweben der Gefäßbündel in dem Holzkörper der Bäume u. a. m., überall da, wo die Zellwand ſtark verdickt iſt, differenzirt ſich ſpäter da, wo die urſprüngliche Membran vorhanden, eine Lamelle, welche mit doppeltem, oft ſelbſt mit dreifachem Contour geſehen wird. In letzterem Falle erſcheint ſie wieder aus zwei Platten, die ſich im mittleren Contour berühren, zuſammengeſetzt. In den Kanten findet ſich eine örtliche Verdickung, welche als Intercellularſubſtanz angeſprochen wurde, als ein Zellenkitt, der, einem Secrete ähnlich, die Membran in centrifugaler Richtung durchſetzte, draußen abgeſchieden die Zellen verklebte.

Bei der Behandlung ſolcher Gewebe mit engliſcher Schwefelſäure löſen ſich die Verdickungsſchichten. Ein Netzwerk, beſtehend aus jenen Membranlamellen und der ſupponirten Intercellularſubſtanz, bleibt ungelöſt.

Gegen das Vorhandenſein eines ſolchen Secretes ſpricht nach § 7 und § 8, 9 die Entwickelungsgeſchichte der vegetativen Gewebe. Nach dieſer handelt es ſich offenbar gar nicht darum, vorher iſolirte Zellen in Verband zu bringen, zu verkleben. Die zwei Tochterzellen, welche aus einer vegetativen Cambiumzelle etwa entſtehen, ſind ſchon mit dem Auftreten einer im Beginn homogenen Scheidewand verbunden. Die Scheidewand erſt trennt und individualiſirt die Protoplasmakörper der beiden Zellen. Sie gehört, wie aus der Betrachtung jedes Zellennetzes am Mikroſkop hervorgeht, den beiden Zellen, welche ſie von einander trennt, gleichmäßig an. Erſt im weiteren Verlaufe des Wachsthums differenzirt ſie ſich in zwei Lamellen, ſo daß ſie mit dreifachem Contour geſehen wird.

---

§ 14. Schichtung und Streifung der Membran[1]).

In dem Querſchnitt ſtark verdickter Zellen erſcheinen die Verdickungen der Wand als concentriſche Schalenconvolute. Die Wand iſt nicht homogen, wie die Wand einer Glasröhre, ſondern es verhalten ſich die

[1]) Nägeli, Pflanzenphyſiolog. Unterſ. Heft II. Das Stärkemehl.

aufeinander folgenden Schalen wie dichtere und weniger dichte Cylinderquerſchnitte. Die dichteren zeigen eine bläulich weiße, die weniger dichten eine blaß roſarothe Interferenzfarbe[1]).

Zufuhr von Waſſer zu ſolchen Objecten vergrößert die Anzahl dieſer wechſelnden Schichten. Waſſerentziehung verringert Anzahl und Ausdehnung derſelben.

Auch in der Längsfläche (Baſtzelle der Vinca, Holzzelle der Abietineen) differenzirt ſich die Membran in Flächen-, reſp. Raumelemente verſchiedenen Waſſergehalts, die Areolen. Es bedeutet dieß: in jeder Membran dieſer Art beſtehen Raumelemente verſchiedener Quellungsfähigkeit und demgemäß verſchiedener Dichte.

Im Winterholz der Kiefer und Fichte, Fig. 102 *A*, ſind die Bänder der wechſelnd dichteren und weniger dichten Membranſubſtanz breiter und von ungleicher und größerer Dicke. Im Sommerholz, Fig. 103 *B*, hingegen ſind ſie ſchmäler und von gleichmäßiger Dicke. Wie ſchon oben bemerkt, fallen die Längsdurchmeſſer der Spaltenporen mit der Richtung der Bänder zuſammen.

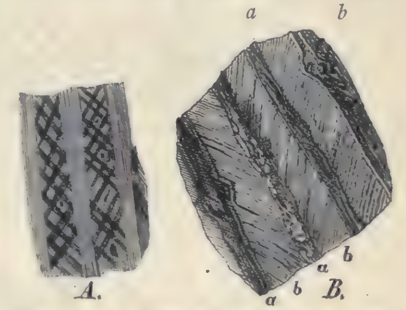


Fig. 103. *A* Winterholz der Tanne im Längsſchnitt. Die Holzzellmembran iſt von gekreuzten Tüpfeln durchbrochen. *B* Sommerholz der Tanne im Querſchnitt. Die Membran iſt geſtreift.

Aehnlich den Durchgängen der Spaltungsflächen im Kryſtall, aber jedenfalls von ganz anderer molecularer Bedeutung, können in einem Raumelemente der Membran Schichten verſchiedener Dichte ſich kreuzen. Nennen wir *d* einen dichten, langſamer quellenden, *l* einen weniger dichten, raſcher quellenden ſolchen Streifen, ſo ſind bei einmaliger Kreuzung, Fig. 103, in der Ebene der Membranplatte die folgenden Combinationen möglich:

l l die Areole mit der geringſten Anzahl feſter Molecule,
d l » » mit der mittleren » » » ,
d d » » mit der größten Anzahl » » .

Beachtet man aber, daß auch parallel der optiſchen Axe der ſo beobachteten Membran Schichten *d*, *l* abwechſeln, ſo erhalten wir vier verſchiedene Areolen:

lll dll ddl ddd

als die Combinationen zwiſchen *d* und *l* zu drei Raumdimenſionen, ohne Wiederholung; dahin gehört z. B. die Vinca-Baſtzelle[2]).

---

[1]) Studienmaterial: Winterholz der Abietineen und Cupreſſineen, Baſtzelle von Vinca Apocynum, Cinchona Baſtzelle, Stengelhaare der Cacteen.

[2]) Bei der ungemein geringen Ausdehnung ſolcher Lamellen aber könnte es immer-

Wenn ein Pressler'ſcher Zuwachsbohrer unter dem Drucke der Muskelkraft parallel der Faſeraxe in das Holz eines Baumſtammes im Winter eindringt, ſo kann man die Wirkung des Druckes auf eine 3—4 Centimeter dicke Schale um den Bohrer direct wahrnehmen. Um den Bohrer bildet ſich eine Compreſſionsſchale, welche heller, in einiger Entfernung bildet ſich eine Schale, welche dunkler gefärbt erſcheint, die erſtere iſt waſſerärmer, die letztere iſt waſſerreicher.

Aehnliche Schalen waſſerreicherer und waſſerärmerer Maſſe finden ſich in der Membran der Einzelzelle vieler Pflanzen, vor allen iſt ein bequemes Studienobject die Stammzelle der Caulerpen. Im trockenen Zuſtande iſt bekanntlich die Anzahl der Schalen kleiner, wie im naſſen. (Man vergleiche Fig. 105 *a* mit *b* und *c*.) Dieſes höchſt merkwürdige Quellungsphänomen

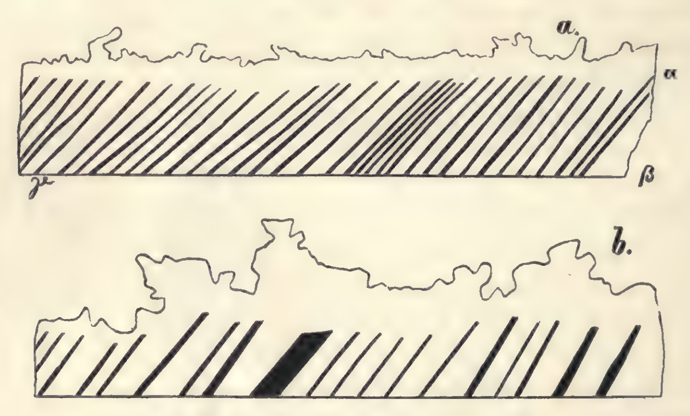


Fig. 104. *a* kleine Parthie eines Raſirmeſſers, welches auf einem feinen Stein geſchliffen war. Die angeſchliffene Keilfläche zeigt die Spuren des Steinkornes in Streifen, welche parallel laufen. Die Diſtanzen dieſer ſind dieſelben, wie die der Meſſerſpuren in Fig. 105 *a b*. *b* Dasſelbe Meſſer wurde ſpäter auf einem grobkörnigen Stein geſchliffen, ſeine Streifen mit den Streifen in Fig. 105 *c* verglichen. Die Aufnahme der Maaße geſchah bei beiden mit 1160 : 1 Vergr. Die Figuren wurden photographiſch auf 1/3 verkleinert.

zeigt, daß auch ſcheinbar ſtarre Maſſen, wie die Celluloſegebilde in ihren Maſſenelementen in hohem Grade plaſtiſch ſind.

Die Kiefernholzzelle zeigt, wie oben S. 85 angegeben, zwei Streifenſyſteme, welche ſich kreuzen. Die Phänomene der Interferenz, welche ſich in den Areolen geltend machen, können künſtlich an der Caulerpazelle nachgemacht werden. Wer ſich bemüht hat, äußerſt dünne Schnitte durch trockene pflanzliche Gewebe herzuſtellen, dem ſind bei der genauen Muſterung des Meſſers und der Schnittfläche drei Phänomene aufgefallen:

---

hin noch ſein, daß es ſich hier um zwei verſchiedene Tangential-Lamellen der Membran handelt, welche hintereinander liegen. Stellt man die ſich kreuzenden Streifen des Kiefernholzes auf eine Jodſilberplatte mikrophotographiſch ein, ſo erhält man ſtets ein Band- oder Streifenſyſtem, deutlicher wie die ſcheinbar gekreuzten.

1⁰ Die Schnitte rollen ſich in dem Maaße auf, wie ſie durch das Meſſer von der Maſſe losgelöſt werden, ſo daß die dem Meſſer zugekehrte Seite die convexe wird. Dieß rührt daher, daß in der elaſtiſchen Maſſe, in welcher das Meſſer die Cohäſion zerſtörte, die beiden Flächen, welche den mikroſkopiſchen Schnitt begrenzen, ungleichen Zugkräften unterlagen. Zur Zeit, wo die obere, in Bezug auf die zu durchſchneidende Maſſe äußere Fläche mit dem Meſſer in Berührung war, war ſie deßwegen weniger gezerrt, weil ſie mit der ganzen Maſſe in Verbindung ſtand. Die untere Fläche aber, durch welche die Scheibe ſoeben losgelöſt wird, iſt einmal die Begrenzungsfläche der ſtärker gezerrten Scheibe, ſodann aber die äußere Fläche des nächſten Abſchnittes.

In Bezug auf die Schneide des Meſſers, welche ſoeben die Continuität aufhebt, können wir ſagen: zwei Theilchen über dem Meſſer werden bei dem Schneiden über ihre Elaſticitätsgrenze gezerrt, zwei Theilchen unter dem Meſſer nicht. Deßwegen krümmt ſich der mikroſkopiſche Schnitt nach der Meſſerſeite convex. Wären beide durch das Meſſer hergeſtellte Theile gleich dick, ſo müßten bei entſprechender Dicke beide Theile in Bezug auf das Meſſer ſymmetriſch gekrümmt erſcheinen.

2⁰ Neue Raſirmeſſer, welche polirt und äußerſt ſcharf aus der (Dittmar'ſchen) Fabrik kommen, ſind für die Herſtellung dünnſter Schnitte weniger geeignet, wie ſpäter, wo ſie viele Male auf dem Stein abgezogen wurden. Der Stein ſchleift an einen ſpitzeren Keil einen ſtumpferen an. Die Figur 104 *a b* zeigt die Schneide des letzteren, *a* auf einem feinen, b auf einem groben Stein abgezogen. (Vergrößerung 1160 : 1, mit dem Bildmikroſkop aufgenommen.) Die Schneide zeigt eine große Anzahl äußerſt unregelmäßiger Sägezähne, welche zuweilen ſo dünn ſind, daß ſie wie andere dünnſte Metallplättchen das Licht durchlaſſen. Das Schneiden iſt ſomit auch bei der Herſtellung mikroſkopiſch dünnſter Schnitte ein Sägen. Das Meſſer wird ſtumpf, auch wenn es nur benutzt wurde, um weiche, ſaftige, ja ſelbſt paſtoſe Objecte zu zerſchneiden, weil die fein-

a

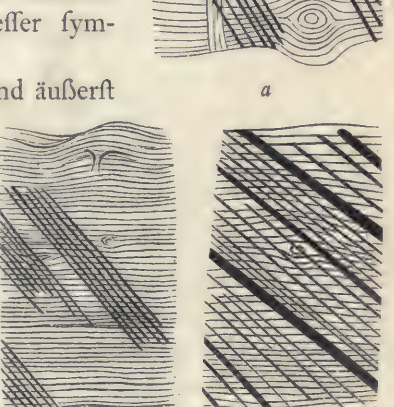


Fig. 105. Querſchnittsparthieen aus der Cylinderwand der Caulerpa. *a* in Waſſer. *b* und *c* trocken. Alle bei 1160 : 1 aufgenommen und auf 1/3 verkleinert. In *a* ſind die Meſſerſpuren erweitert. In *b* ſind ſie wie die Schichten zuſammengezogen. In *a b* wurde das Meſſer Fig. 44 *a*, in *c* wurde das Meſſer Fig. 44 *b* zur Herſtellung der Streifen benutzt.

ſten Zähne abbrechen. Die Keilfläche in der Nähe der Schneide des Meſſers iſt in Berge und Thäler zerriſſen, es ſind die Spuren der Körner des Schleifſteines.

3⁰ Alle härteren Objecte, welche mit dem Raſirmeſſer in mikroſkopiſch dünne Schnitte zerlegt wurden, zeigen in der Fläche des Schnittes die Spuren des Meſſers in breiteren oder ſchmäleren Streifen. Da der mikroſkopiſche Schnitt, wie oben erwähnt, von zwei Flächen ungleicher Elaſticität eingeſchloſſen iſt, da mithin die kleinſten Theilchen in der oberen anderen Anziehungskräften folgen, wie in der unteren, ſo ſollte man glauben, die Meſſerſpuren müßten nur in der oberen oder mindeſtens in der oberen ſtärker ſein, wie in der unteren. Dieß iſt nicht der Fall; ſchneidet man ſo, daß die Normalen zu der Schneide für die beiden den mikroſkopiſchen Abſchnitt einſchließenden Schnittflächen zu einander ſenkrecht ſtehen, ſo findet man bei der mikroſkopiſchen Abmuſterung zwei ſich kreuzende Syſteme von Streifen, das eine auf der Oberſeite, das andere auf der Unterſeite.

---

§ 15. Physikalische Eigenschaften der Pflanzenmembran.

A. Quellung jugendlicher Membranen[1]).

Soeben entſtehende Eizellen der Phanerogamen ſchwellen im Waſſer an, die jugendliche Membran quillt, beſitzt aber in einer peripheren Schicht ſchon einige Spannung; bei einer gewiſſen Volumzunahme platzt ſie plötzlich und läßt den Inhalt zu einer geſtaltloſen Maſſe ausfließen. Die Quellung ganz junger vegetativer Zellen iſt faſt unbegrenzt, Fig. 106.

B. Unbegrenzte Quellung in ausgewachsenen Zellen[2]).

Im Laufe der Ernährungsvorgänge werden ganze Gewebe verflüſſigt und verbraucht, die Pollenmutterzellen, die Gewebe des Embryoſackes, die Wurzelſpitze u. a. m.

Ein anſehnliches Studienobject in dieſer Beziehung iſt die Pollenzelle der Maranta biflora, Fig. 107. Die Zelle quillt in Waſſer, ſo daß die

[1]) Studienmaterial für Quellungsphänomene: Thallus der Flechten und Algen, Paraphyſen von Diphyscium, quellende Samenſchalen: Salvia horminum, Plantago, Collomia, Ruellia, Sinapis u. a. Cruciferen.

[2]) H. v. Mohl, Unterſuchungen über die Entſtehungsweiſe des Traganthgummi. 33. Bot. Ztg. 65. — A. B. Frank, Ueber die anatomiſche Bedeutung und die Entſtehung der vegetabiliſchen Schleime. 1867. Pringsh. Jahrb. Bd. V. 1866—67. S. 161. — Wilhelm Kirchner, Unterſuchungen über den Pflanzenſchleim. Inaug.-Diſſert. d. Univerſ. Göttingen 1876. — Wiegand, Entſtehung des Kirſchgummi. Pringsh. Jahrb. III. S. 115.

dichteren, an Volum zunehmend, ſich wellenförmig beugen. Die lockeren Kugelſchalen *l l*, Fig. 107, werden geradezu verflüſſigt.

C. Begrenzte Quellung wachsender und ausgewachsener Membranen[1]**).**

Die wachſenden Membranen, welche in beſtimmter Entfernung von ihrem Bildungsheerde liegen, beſitzen lange, ehe ſie durch ausgewachſene Nachbarn in Schranken gehalten werden und ſelbſt ausgewachſen ſind,

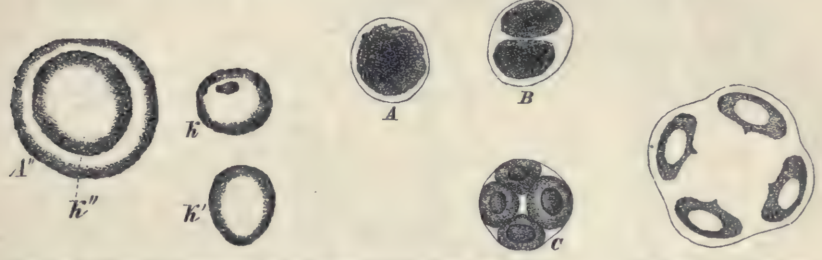


Fig. 106. Pſilothum triquetrum. Lycopodiaceen. Zelltheilung der Sporenmutterzellen. *A B C* verſchiedene Theilungszuſtände. *K K'* iſolirte Zellkerne. *K"* Zellkern in der Zelle eingeſchloſſen. In *A B C* liegen die Zellen in Glycerin, in *A"* liegt die Zelle in Waſſer.

Pſilothum triquetrum. Dieſelbe Zelle wie Fig. 106 *C*, aber im Waſſer.

eine größere Quellungsfähigkeit. Die Quellungsgröße iſt aber bereits in verſchiedenen Richtungen ungleich. Offenbar befinden ſich ſolche Häute in einem Zuſtande, der in keinem anorganen Gebilde ähnlicher Beſchaffenheit in irgend einem Sinne hergeſtellt werden kann. Sie nehmen in der nächſten Zeit nach ihrer Entſtehung feſte oder flüſſige Theile auf und ihr Volum vergrößert ſich. Sie beſitzen ſomit Anziehungskräfte ſpecifiſcher Natur, ſowohl in Bezug auf die Maſſe, wie auch auf die Richtung, in welcher ſie ſolche einlagern.

Mit dem Heranwachſen jugendlicher Membranen nimmt ihr Waſſergehalt in gleichem Volum ab. Im Beginn iſt derſelbe außerordentlich groß, zuletzt verhältnißmäßig klein.

Fig. 107. Quellende Pollenzellen von Maranta biflora. *d* die dichten, *l* die lockeren Schalen.

Um das Verhältniß der Waſſermenge zur feſten Subſtanz zu beſtimmen, wurden die vier jüngſten, mikroſkopiſch wahrnehmbaren Blätter von dem Vegetationspunkt des Sempervivum tectorum frei präparirt, naß gemeſſen, im Exſiccator getrocknet und nochmals gemeſſen. 1 iſt das jüngſte, 4 iſt das älteſte der vier Blätter.

[1]) Botan. Unterſ. von Dr. N. J. C. Müller. Heidelberg. C. Winter. I. Bd. S. 125.

In 1	schrumpften	20	Längeneinheiten	auf	5,
» 2	»	45	»	»	25,
» 3	»	85	»	»	64,
» 4	»	145	»	»	124.

Die trockene Masse ist somit im jüngsten Blatte, wenn wir annehmen, sie würde bei der Wiederbenetzung auch das ursprüngliche Volum wieder einnehmen, von 100 auf 400 Längeneinheiten gequollen. Im Blatte 4 aber würden unter denselben Voraussetzungen 100 nur auf 112,9 Längeneinheiten quellen. In der ausgewachsenen Membran der Laubblätter ergibt sich für Allium rotundum die procentische Quellung aus dem trockenen in den nassen Zustand:

der Länge . . . . 0,152 %,
der Breite . . . . 1,587 %.

Es herrscht somit auch bei der ausgewachsenen Epidermis eine minimale Quellung in Richtung der Blattaxe, während dieselbe in der Querrichtung sehr merklich ist.

Dieselben Messungen, welche an vier mikroskopisch kleinen Blättern ausgeführt wurden, konnte ich an vier eben deutlich sichtbaren Blättern vornehmen. Die Epidermen dieser vier Blätter wurden in die Breite und Länge gemessen, auch wurde die Anzahl der Zellen nach beiden Richtungen bestimmt.

	5		6		7		8	
	naß.	trckn.	naß.	trckn.	naß.	trckn.	naß.	trckn.
Länge.	187	171	301	292	861	835	1093	1050
	7,00 %		3,08 %		3,11 %		4,08 %	
Breite.	363	363	453	365	457	450	722	680
	0 %		24,11 %		1,55 %		6,17 %	
Anzahl der Zellenbreite.	18		14,5		15		17	
Anzahl der Zellenlänge.	10		11		25		34	

Bildgröße von 0,5 mm = 185 mm.

Die procentische Flächenzunahme durch das Wasser berechnet sich hieraus zu:

Länge: 7 %, 3,08 %, 3,11 %, 4,08 %.
Breite: 0 %, 24,11 %, 1,55 %, 6,17 %.

Zu Messungen über die Quellung in cylindrischen Zellen eignet sich in erster Linie die Stammzelle der Caulerpen. Die Zelle quillt am stärksten

in radialer Richtung, ſodann kommt die Axenrichtung, am ſchwächſten iſt die tangentiale. Fig. 108.

Zu Studien über das Quellen und Schrumpfen am ganzen Baume wurde die Fichte gewählt. Es iſt bekannt, daß, wenn das naſſe Stammholz austrocknet, radial geſtellte Riſſe entſtehen, während die Cohäſion nach allen anderen Richtungen ſo groß iſt, daß die Continuität erhalten bleibt. Daraus geht hervor, daß das Holz in tangentialer Richtung etwas ſtärker quillt, wie in radialer.

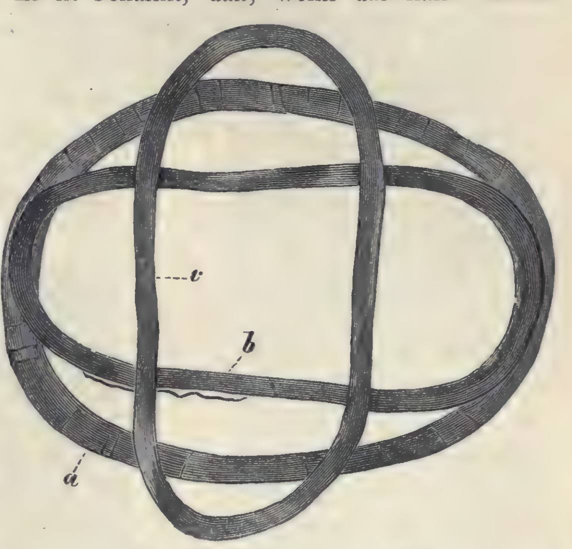


FIG. 108. Querſchnitt der Caulerpazelle. *a* in Waſſer, *b* in Canadabalſam, *v* trocken. Bei 108 : 1 in objectiver Weiſe aufgenommen und auf 1/3 verkleinert.

Bringt man an der naſſen Querſchnittsſcheibe einen radialen Sägeſchnitt mit der Laubſäge an, welcher ſich von der Peripherie bis ins Mark erſtreckt, ſo entſteht ſtatt der zahlreichen radialen Spalten ein einziger großer keilförmiger Spalt. Fig. 109.

Die Quellungsaxen für ein Raumelement des Holzes wird man leicht und bequem meſſen können, wenn man die Ab- und Zunahme der Flächen in einem Holzquerſchnitt und in einem Längsſchnitt mißt, bei der Waſſerzufuhr und dem Austrocknen.

Ich benutzte mikroſkopiſch dünne Schnitte aus dem Holz der Fichte, um ſolche Meſſungen auszuführen.

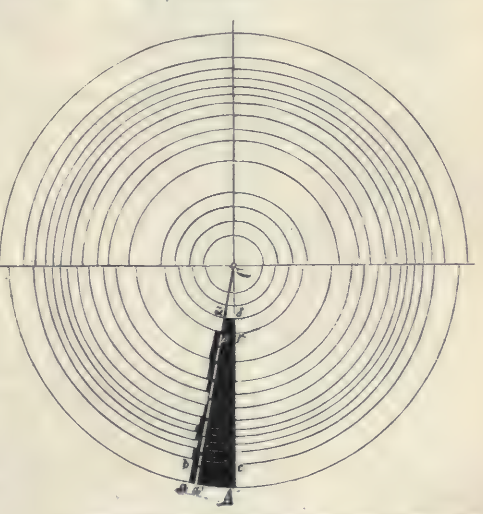


FIG. 109. Ein 67jähriger Fichtenſtamm, auf ſeine Grundfläche projicirt in 1/4 nat. Größe. In 15 Cylinderabſchnitten iſt derſelbe zerlegt, welche als concentriſche Kreiſe im trockenen und naſſen Zuſtande ausgemeſſen wurden.

Ein quadratiſches Plättchen, deſſen Seiten mit der Richtung der Markſtrahlen und den Tangenten der Jahrringe zuſammenfielen, wurde für den Querſchnitt, ein rechteckiges Plättchen, deſſen Seiten von

der Faferaxe begrenzt find, für den Radiallängsfchnitt angewendet; für das letztere kam nur Sommerholz in Betracht.

Die Plättchen wurden fo lange im Ca-Cl-Exficcator getrocknet, bis das Volum fich nicht mehr verkleinerte; fodann gemeffen und in Waffer liegend durch mehrere Tage hindurch wiederholt gemeffen, bis keine Volumzunahme mehr eintrat.

Die Bildgröße eines halben Millimeters war bei derfelben Vergrößerung 184 mm, die Vergrößerung mithin eine 368fache.

	Anfang trocken.	Ende naß.
Radiale Richtung	190,5 mm,	203 mm,
Tangent- »	326,0 »	338 »
Längs- »	945 »	952,5 ».

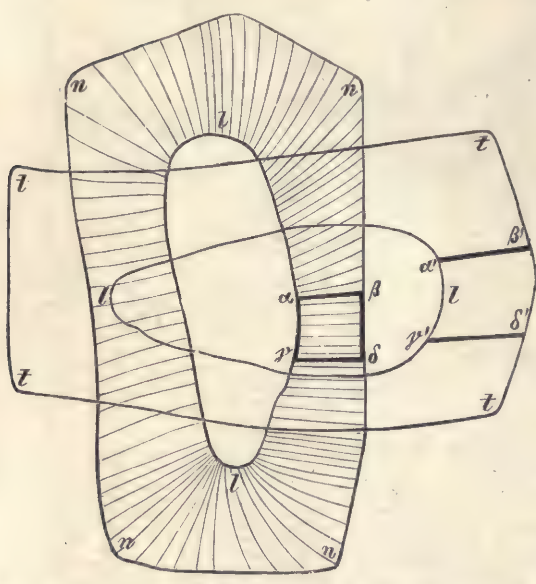


Fig. 110. Querfchnitt einer Winterholzzelle der Fichte bei 2192facher Vergrößerung gemeffen und auf 1/3 verkleinert, *t* trocken, *n* naß.

In dem Querfchnitte war die Zahl der Zellen in der radialen Richtung 55, (wovon 45 Winterholzzellen waren), in der tangentialen 22. Im Längsfchnitt maß eine Holzzelle 800 mm.

Die procentifche Verlängerung berechnet fich hieraus für den Uebergang aus dem trockenen in den naffen Zuftand.

Tangente = 3,7 %,
Radius = 7 %,
Axe = 0,80 %.

Die Quellungsaxen in der Wand der Einzelzellen find ftets abhängig von der vorhergehenden Zerrung oder den Molecularkräften der Adhäfion und Cohäfion. Da alle vegetativen Gewebe in diefem Sinne beeinflußt find durch ihre eigene Geftalt und durch die Nachbarzellen, fo wird die Größe der Quellung nach verfchiedener Richtung fehr verfchieden fein. Die Zerrung oder Compreffion wirken vorzugsweife zu einer Zeit, wo die Membranen noch nicht im ftabilen Zuftande waren, fondern wuchfen, alfo ftetig ihre Molecule verfchoben und in Spannung verfetzten. Erhärtet nun die Membran plötzlich, fo wirken jene Kräfte noch nach und kommen zum fichtbaren Ausdruck, wenn dem Gewebe entweder Waffer zugeführt oder entzogen wird.

Für eine einzelne Holzzelle aber ergeben fich die Quellungsgrößen

für den Radius 23,5 %, für die tangentiale Richtung zu 7,0 %, für die Axenrichtung zu 0,8 %, ſ. Fig. 110 und 111 *b*. Bei dem Uebergang aus dem trockenen nach dem naſſen Zuſtand wird das Lumen der Zelle verengt, die capillare Spannung ſomit vergrößert.

In den Figuren 111 *a*, *b*, *c* ſind die Quellungsaxen graphiſch dargeſtellt. Die ausgezogenen Axen *C R*, *C A*, *C P* in der Fig. 111 *a* bedeuten die Län-

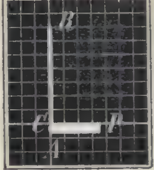


FIG. 111 *b*. Quellungsaxen im Volumelement des Fichtenholzes.

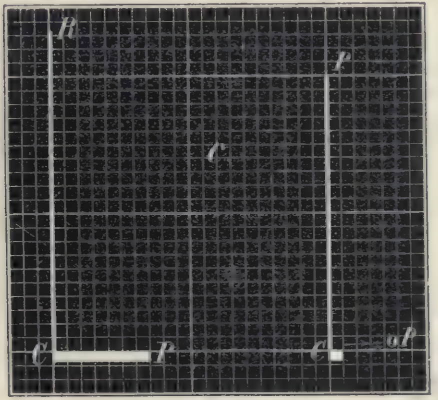


FIG. 111 *c*. Quellungsaxen im Maſſenelement des Fichtenholzes.

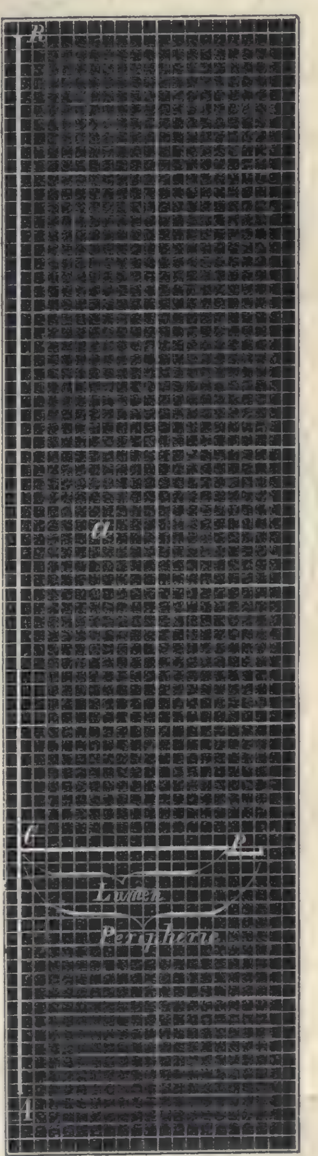


FIG. 111 *a*. Quellungsaxen der Caulerpa.

genzunahmen für 100 Theile der Ordinaten in den anzugebenden Richtungen, für die Caulerpaſtammzelle iſt *C A* die Längenzunahme der Axe, *C P* in der peripher transverſalen Richtung und *C R* in der radial transverſalen. In Fig. 111 *b* ſind die Volumzunahmen für ein aus vielen Zellen beſtehendes Holzwürfelchen der Fichte dargeſtellt, *C R* für die radial transverſale, *C P* für die transverſal tangentiale und *C A* für die Axenrichtung. Für die iſolirte Holzzelle der Fichte endlich iſt die Volumzunahme im Querſchnitt verſchieden, je nachdem das Maſſenelement die Lage $\alpha\ \beta\ \gamma\ \delta$, Fig. 110, oder $\alpha'\ \beta'\ \gamma'\ \delta'$ hat; für erſtere gilt die links, für letztere die rechts verzeichnete Figur in Fig. 111 *c*.

D. Beobachtungen über die Volumänderung durch Quellung in verschiedenen Regionen des Baumes.

In zwei Regionen wurden bei der Fichte Bohrſchnitte geſammelt und dieſe in kleine Tangentialſcheiben zerlegt. Eine kreisförmige, in der Cylinderfläche gelegene Scheibe muß im Allgemeinen in einem Jahre zwiſchen drei Figuren ſchwanken; da nämlich die Volumänderung in Richtung der Axe ſehr klein iſt, ſo verwandelt das Trocknen den kreisförmigen Ausſchnitt in eine Ellipſe, deren große Axe mit der Faſeraxe zuſammenfällt. Beim Quellen aber wird dieſe letztere zur kleinen, die transverſale zur großen Axe einer zweiten Ellipſe. Der Durchmeſſer der Kreiſe wurde im Anfang gemeſſen, ſodann wurden die Plättchen in Waſſer bis zum Maximum der Quellung naß, endlich im Exſiccator ausgetrocknet und gemeſſen.

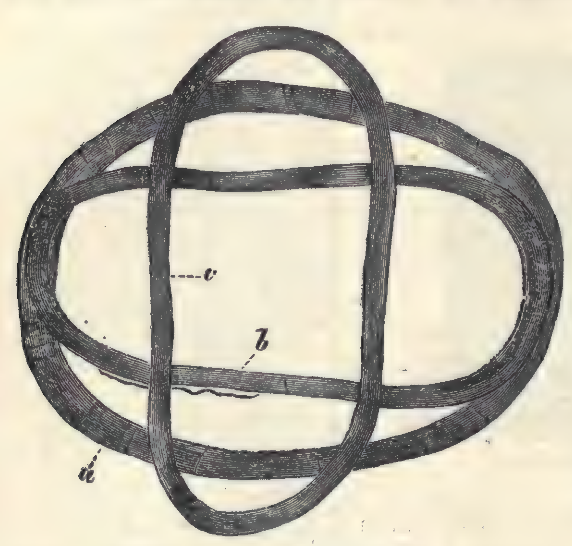


Fig. 112. Querſchnitt der Caulerpazelle. *a* in Waſſer. *b* in Canadabalſam. *v* trocken. Bei 108 : 1 in objectiver Weiſe aufgenommen und auf 1/2 verkleinert.

Es zeigte ſich, daß für das Sommerholz des Stammes an der Baſis und der Peripherie die Quellungsgröße 7,66 % beträgt, während das Winterholz nur 6,66 % beſitzt.

Es wurden gefunden 3,99 % für Sommer- und 3,33 % für Winterholz im Kern des Stammes und endlich 8,29 und 7,25 an der Spitze des Stammes in den Splintlagen.

E. Specifische Anziehung der festen Theile zu verschiedenen Flüssigkeiten.

Die Volumzunahme und die Volumabnahme einer gegebenen Pflanzenhaut bei Zufuhr reſp. Entziehung von Flüſſigkeit verlaufen nicht in gleichem Sinne für alle Flüſſigkeiten. Die feſten Membrantheile in der lückenloſen Subſtanz laſſen die Abſtände ihrer molecularen Interſtitien innerhalb weiter Grenzen ſchwanken. Das mit der gegebenen Flüſſigkeit geſättigte Raumelement kann größer oder kleiner ſein, wie das trockene Raumelement. Denken wir uns ein Würfelchen der Holzmaſſe aus der Holzzelle ohne ſichtbare Lücken ausgeſchnitten, getrocknet und gemeſſen, ſo iſt ſein Volum

v größer, wie wenn wir es mit Harz, ätheriſchem Oel, Alkohol tränken und ſättigen v', es iſt aber kleiner, wie wenn wir es mit Waſſer ſättigen, v''.

Bei dieſen Vorgängen iſt die Anzahl der Molecule feſter Zellſtofftheilchen nicht verändert worden. Im Volum v' und v'' aber ſind offenbar mehr Molecule beider Aggregate wie in v', es folgt daraus, daß Flüſſigkeitsmolecule die Eigenſchaft beſitzen, die Molecule der Membran einander zu nähern und von einander zu entfernen, bezogen auf den lufttrockenen Zuſtand (m. ſ. Fig. 112).

F. Die Dichte.

1⁰ Das ſpecifiſche Gewicht der Gewebe iſt, bezogen auf deſtillirtes Waſſer, immer größer, wenn luftführende Räume in ihm fehlen.

2⁰ Unter denſelben Umſtänden wird es in weiteſten Grenzen ſchwanken,

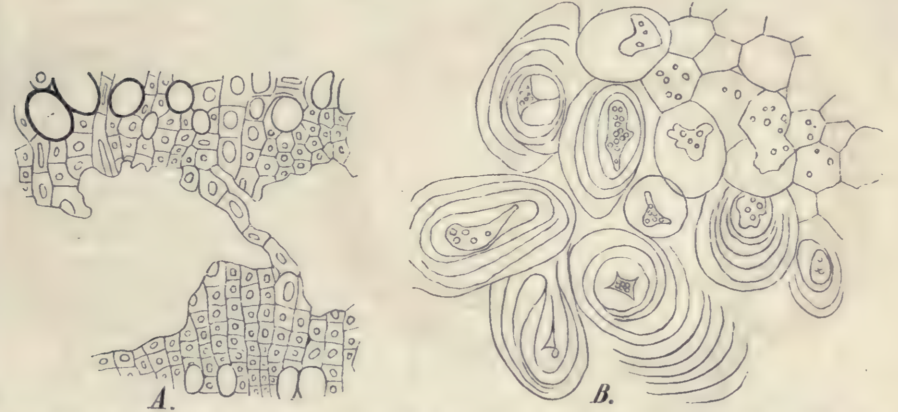


Fig. 113. *A* Corroſionsſtelle aus dem Gummi-kranken Kirſchholze. *B* kleine Parthie aus dem quellenden Marke des Aſtragalus creticus.

je nach der Dichte der Löſungen in dem Zellhohlraum und je nach der Maſſe der feſten Membranen in dem gegebenen Volumelement.

3⁰ Die lückenloſe Membran aber ſelbſt muß ſchwanken, je nach der Anzahl und der chemiſchen Natur der imbibirten Flüſſigkeitsmolecule.

Das ſpecifiſche Gewicht lufttrockenen Holzes iſt bei

Quajacum officinale	1,39,
Buxus ſempervirens	1,00,
Taxus baccata	0,84,
Fagus ſylvatica	0,74,
Quercus Robur	0,75,
Picea	0,48,

iſt ſelbſtredend abhängig von der Weite der lufterfüllten Hohlräume und ſchwankt nach der hiſtiologiſchen Natur in weiten Grenzen. In einem und demſelben Gewebe wird das ſpecifiſche Gewicht abhängen:

1⁰ Von der Größe der Zellenlumina, 2⁰ von der Menge des imbibirten Waſſers, 3⁰ von der Menge lufterfüllter Räume.

G. Unbegrenzte Quellung.

1⁰ Pathologiſche Erſcheinungen.

In dem Marke des Astragalus creticus quellen zu beſtimmter Zeit[1]) die Zellen in der Weiſe, daß ſie ihre Feſtigkeit verlieren, in Form einer Gallert aus dem Riß des Stämmchens hervorfließen und zu dem bekannten Traganthgummi erhärten. Mikroſkopiſche Durchſchnitte durch das Mark, Fig. 113 *B*, zeigen in den Quellungsſchichten, ſowie in der Vertheilung der Körner transitoriſcher Stärke noch die Ueberreſte der urſprünglichen Zellenſtructur.

In dem Holze und der Rinde der Amygdaleen, insbeſondere der Kirſche, werden die Gewebe wahrſcheinlich in Folge äußerer roher Eingriffe, wie das Abſchneiden der Aeſte, ſo umgewandelt, daß ſie zuerſt die Doppelbrechung verlieren, ſodann zur geſtaltloſen Gallert aufquellen. Dieſe Gummikrankheit (gummoſis) corrodirt die Holzſtructur auf centimeterweite Strecken, ſie ſchreitet in transverſaler Richtung parallel den Jahresringen fort und überſpringt zuweilen die Markſtrahlen und Grenzſchichten der Jahrringe, welche der Erkrankung größeren Widerſtand entgegenſetzen, Fig. 113 *A*.

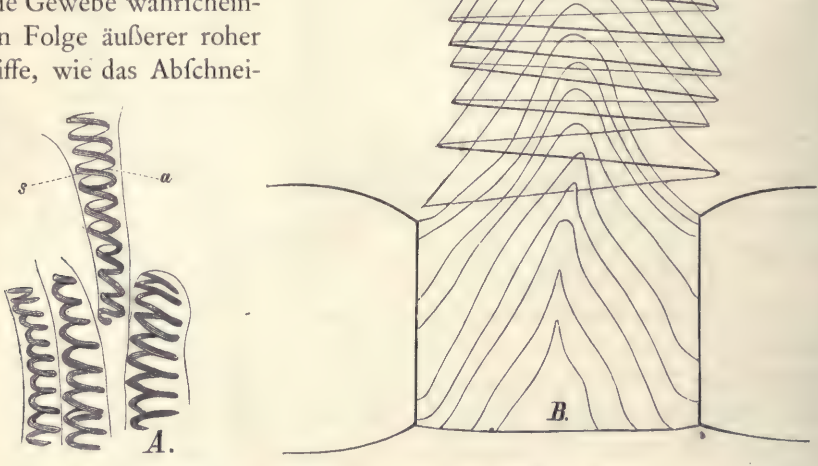


Fig. 114. *A* quellende Hautzellen der Samen von Collomia. *a* ein Schleimcylinder aus den weniger dichten Theilen der Zellwand entſtanden. *s* die Schraubenbänder dichterer und langſamer quellender Maſſe. *B* Teesdalia nudicaulis. Quellende Samenſchale.

1) H. v. Mohl, in Botan. Ztg. a. a. O. ſ. oben. S. 88.

2⁰ Normale Schleimbildung.

Die äußerste Zellenschicht der Integumente vieler Samen[1]) wird gesetzmäßig in der Weise umgewandelt, daß sie bei Wasserzufuhr rasch aufquellen. Hierbei werden die Membranen, da die wasserreicheren Lamellen rascher, die wasserarmen langsamer quellen, zerklüftet in schraubenlinige Bänder, Fig. 114 *A*, so bei der Collomia, bei der Salvia horminum. Am Samen der Teesdalia nudicaulis, Fig. 114 *B*, zerklüftet sich die Membran hierbei, indem wie vorher die dichteren Lamellen langsamer quellen, in kegelförmige Kappen, welche ineinander geschachtelt sind.

Cydonia- und Linum-Samen quellen so, wie die schematische Figur 115 *A* demonstrirt. Stets macht sich ein Widerstand in den dichteren Schalen geltend.

Die Paraphysen von Diphyscium foliosum, Fig. 115 *B*, sind ursprünglich Zellenfäden, ähnlich den cylindrischen Ketten der Fadenalgen. Die Zellen wachsen und lockern sich auf, indem eine äußere dichtere Schale $\alpha\,\alpha'$, Fig. 115 *B*, von der inneren wachsenden Haut abhebt, durch die Quellung einer mittleren, weniger dichten Lamelle. Die äußere Schale $\alpha\,\alpha'$ zerreißt und bildet zwei zu je einer Cylinderzelle gehörige Kappen (s. § 18, Fig. 174).

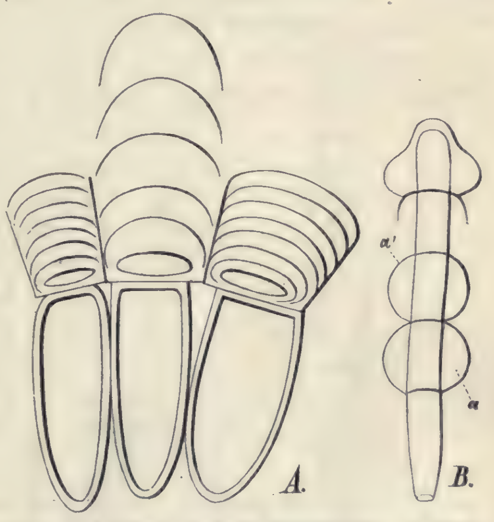


Fig. 115. *A* Cydonia. Quellende Samenhautzellen. *B* Diphyscium foliosum. Paraphysen.

H. Quellungsdrucke.

Der Druck, welcher durch die betrachteten Volumzunahmen bei Wasserzufuhr zu geschlossenen Pflanzengeweben erzeugt wird, bewirkt zwei wesentlich verschiedene Bewegungsvorgänge:

1⁰ Die Oberfläche wird fortgeschoben, das Organ schwillt.

2⁰ Die in den Hohlräumen der quellenden Zellen enthaltene Flüssigkeit wird gepreßt und eventuell fortgeschoben oder durch die Membran transpirirt.

Volumänderung bei der Quellung von Cellulose und deren Derivaten.

Um zu zeigen, daß eine Volumverminderung oder Vermehrung beim

---

[1]) Studienobjecte: Leinsamen, Samen von Cydonia vulgaris, Teesdalia nudicaulis, Sinapis, Collomia, Salvia horminum. Paraphysen von Diphyscium foliosum.

Uebergang in den gequollenen Zuſtand eintritt, wurden mehrere Kugelapparate[1]), Fig. 116, angewendet.

Bringt man trockene Erbſen in Waſſer, ſo beobachtet man, daß das Geſammtvolum hin und her ſchwankt, ehe eine dauernde Volumvermehrung eintritt.

Verſuch.

In den Kugelapparat Fig. 116 wurden 80 trockene Erbſen gegeben; derſelbe enthielt etwas Queckſilber bis zum Niveau *e*, welches in dem Rohre *f* aufſteigen kann.

Zu den Erbſen wurde Waſſer gefüllt und der Apparat mit einer angeſchliffenen Platte verſchloſſen.

Quellung.

Zeit.	Temperatur.	Volumvermehrung.	Volumverminderung.
Anfangs	21,5° C.	0	0
60 Minuten ſpäter	21,75° »	0,0007643	
120 » »	21,75° »		0,0007365
180 » »	21,8° »		0,001271
240 » »	21,8° »		0,001107
345 » »	22,0° »		0,0008153
450 » »	21,5° »		0,00005134
810 » »	22° »	0,004340	
930 » »	22° »	0,002360	

Von nun an treten Gaſe aus.

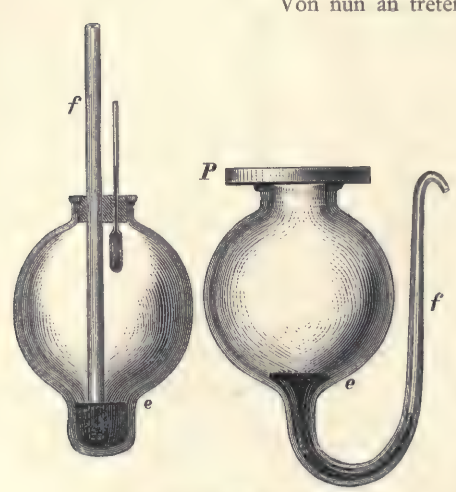


Fig. 116. Quellungsmeſſer.

Aus dem Gang der Temperatur und der Volumſchwankung ergibt ſich ſonach mit Sicherheit eine Verminderung der Volumſummen, ſomit eine Contraction, denn von der zweiten Ableſung ab ſinkt das Volum, während die Temperatur langſam wächſt. Wäre die abgeleſene Temperaturerhöhung Folge einer Wärmezufuhr von außen, ſo hätte das Volum ſtetig wachſen müſſen.

Der Druck, welcher von der quellenden Maſſe zurückgeſchoben

[1]) Die Apparate Fig. 116 wurden in ein ſehr großes Gefäß in Waſſer getaucht. Damit wurden die äußeren Temperaturſchwankungen möglichſt ausgeſchloſſen.

wird, iſt ein ſehr bedeutender. Er wird von BÖHM gegen 18 Atmoſphären für quellende Erbſen angegeben. BÖHM gab die zerkleinerten Erbſen in eine Metallhülſe, welche, am einen Ende wie eine Kanone geſchloſſen, in ihrer cylindriſchen Wand ſo durchlöchert war, daß das Waſſer, welches die Kanone in einem zweiten Gefäße umgab, zu den quellenden Bruchſtücken treten kann. Dieſe aber ſind ſo groß, daß ſie nicht durch die Poren der Kanone austreten können. Die quellende Maſſe wird mit einem dicht an die Cylinderwand anſchließenden Stempel bedeckt. Nachdem die lufterfüllten Lücken in der Kanone mit Waſſer erfüllt ſind, wird der Stempel nach jeder Volumvermehrung ſo lange mit neu aufgelegten Gewichten belaſtet, bis das quellende Volum conſtant erhalten bleibt. Der Druck, welcher ſo gefunden wurde, iſt die äußerſte Größe des Quellungsdruckes.

Denſelben Grenzdruck fand ich (Bot. Unterſ. Bd. I. S. 52 ff.) für das bei der Benetzung quellende ſaftige Mark von Helianthus zu $13^1/_2$ Atmoſphäre. Ich iſolirte ein Markprisma von $^1/_3$ Meter Länge von dem Holz und der Rinde, ſchloß es aber mit den Abſchnitten dieſer Gewebe in einen ſtarken Glascylinder ſo ein, daß es ſich nur in der Längsrichtung ausdehnen konnte. Der obere Querſchnitt wurde allmälig ſo belaſtet, daß jede ſoeben eintretende Volumvermehrung wieder durch Gewichtszulagen auf ein verſchiebbares Tiſchchen vernichtet wurde.

Die Phänomene der Quellung haben ſoeben durch REINKE eine erneute Bearbeitung erfahren (Unterſ. über d. Quellung einiger vegetab. Subſtanzen, Sep.-Abdr.). Wir entnehmen dieſer Abhandlung die folgenden Angaben (S. 132 ff.): Um aus dem gequollenen Laube der Laminarien, welches 170 % Waſſer aufgenommen hätte, ſoeben Waſſer zu preſſen, genügte ein Druck von 16 Atm. Bei 93 % Waſſer war ein Druck von 200 Atm. nöthig. Dahingegen bilden ungefähr 8 Atm. den Grenzdruck, unter welchem 93 % Waſſer aufgenommen werden. In demſelben Pflanzengewebe, welches 230 % Waſſer aufgenommen hatte, erfuhr die Volumſumme aus beiden Körpern eine Compreſſion von 0,2 Volumprocenten, was einem Drucke von 45 Atm. entſpricht. Bei ausgewachſenen und getrockneten Drehſpähnen des Laminarienlaubes zeigte ſich bei der Quellung mit 66 % Waſſer ein Wärmeverbrauch von 2,29 Wärmeeinheiten, was dem poſitiven Arbeitswerth 0,97 Kilogr.-meter entſpricht. «Indem wir bei unſeren Meſſungen wahrnahmen, daß den Quellungsproceß eine Entwickelung poſitiver Quellungswärme begleitet, beobachten wir darin einen beträchtlichen Ueberſchuß des im Zuſammenſtrömen von Waſſer und quellbarer Subſtanz gegebenen Arbeitsvorrathes über die wirklich bei der Quellung geleiſtete Arbeit, mithin einen beträchtlichen Ueberſchuß von disponibler lebendiger Kraft über die vorhandenen Widerſtände.»

---

§ 16. Theorie der Intussusception und Apposition.

Alle Wachsthumserſcheinungen beruhen in letzter Linie darauf, daß die Molecule der feſten Subſtanz in den Heerd des Wachsthums eingeführt werden. Der ſtete Vorgang der Volumvergrößerung entzieht ſich dem bloßen Auge. Mit Hilfe von feineren Meßinſtrumenten kann die Volumzunahme als Function der Zeit beobachtet werden. S. § 21. Die Bewegung der Molecule, die Anſammlung der feſten Theilchen aber entzieht ſich dem ſinnlichen Auge. Zahlreiche Vorgänge erlauben aber den Schluß, daß kleinſte Theilchen zwiſchen vorhandene kleinſte Theilchen eingelagert werden. Bei dem ſtattlichſten Repräſentanten des Pflanzenreiches, bei unſerem Waldbaume, iſt zwar die grobe Maſſenanhäufung eine Appoſition neuer Jahrringe, in jedem kleineren, noch ſichtbaren Volum desſelben, in jeder Zelle aber müſſen ſtetige Verſchiebungen unſichtbarer Theile zwiſchen ſtabileren herrſchen, wenn das Wachsthum überhaupt räumlich vorſtellig werden ſoll. Es werden in pflanzlichen Zellen nach den Betrachtungen im § 1 und § 3 neben dem Vorgang des Niederſchlages feſter Maſſen, Verſchiebungen und Einlagerungen eine bedeutende Rolle ſpielen. Ja, alle Stoffaufnahme beruht auf letzterer Molecularbewegung. Von dem Orte der Aufnahme oder der Entſtehung muß ein gelöſtes Theilchen unzählige Male zwiſchen vorhandenen feſten Theilen eingelagert und fortbewegt ſein, ehe es zu einer dauernden Endlage zu gelangen vermag.

Bei einem wachſenden Kryſtall[1]) müſſen die hintereinander belegenen Molecule aufgelagert gedacht werden. Wächſt der Kryſtall unter dem Mikroſkop, ſo wird der äußere Contour einer Kante parallel der Wachsthumsrichtung verſchoben. Der Kryſtall wächſt in der That durch Appoſition, ſo daß eine gegebene innere Lamelle an ihm älter iſt, als eine äußere. Dieſe Altersfolge der in dem Gebilde eingelagerten Molecule herrſcht bei der wachſenden Zelle mit wenigen Ausnahmen nicht.

In dem ſtabilſten Pflanzengewebe, dem Holz der Bäume, wächſt im Laufe von Jahrzehnten das ſpecifiſche Gewicht des lückenloſen Holzwürfels und es nimmt der Kohlenſtoffgehalt zu. Dieſe Vorgänge können nur durch die Intusſusception erklärt werden.

	Specifiſches Gewicht.		Kohlenſtoffprocente, 48 % in reiner Celluloſe.
Tanne	1·16	Eichenholz	52 %
Eiche	1·27	Ebenholz	53 %
Flachs	1·45	Nußſchale	54 %.

[1]) Dr. Fr. Klocke, Beobachtungen und Bemerkungen über das Wachsthum der Kryſtalle. 1871. N. Jahrb. f. Mineralogie.

A. Structur der Stärkekörner[1]).

Das nächſte wichtige Kohlehydrat iſt das Stärkemehl (Amylum). Von der gleichen Molecularformel wie die Celluloſe, unterſcheidet ſich die Stärke durch die Geſtalt und die Jodreaction. Das Stärkemehl entſteht als ein Niederſchlag in der Pflanzenzelle. Das Niederſchlagskorn iſt im Momente ſeines Entſtehens eine punktförmige kleine Kugel, welche nach mehr oder weniger ſtrengen Formgeſetzen durch Intusſusception wächſt, ſich differenzirt in Schalen verſchiedenen Waſſergehaltes und ſich bei vielen Pflanzenarten in mehrere, oft zahlreiche Tochterkörner theilt.

Das Stärkemehl wandert von dem Orte ſeines erſten Auftretens, dem Blatte, rückwärts über das ganze Syſtem des Baumes, und überall, wo es während dieſer Wanderung auftritt, iſt es in Form kleiner kugeliger Niederſchlagskörner nachweisbar.

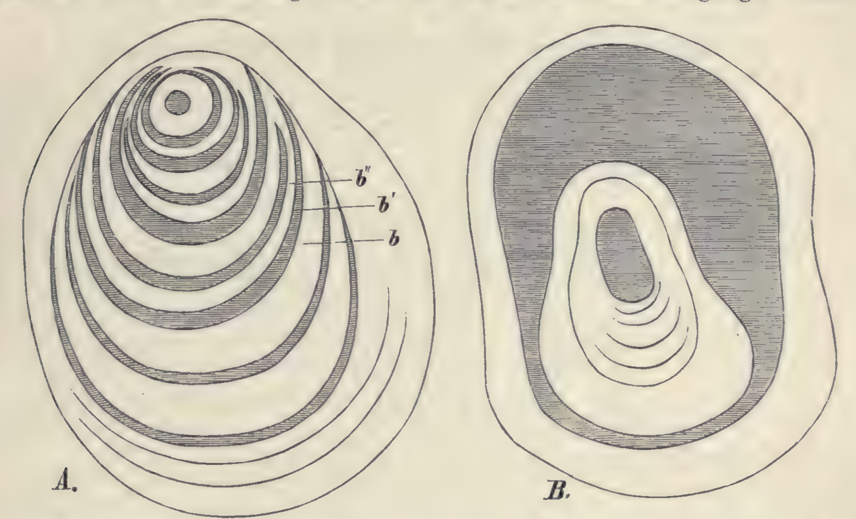


FIG. 117. *A* Kartoffelſtärke mit excentriſcher Schichtung nach NÄGELI. *B* Kartoffelſtärke, halbgequollen, der Kern und einige äußere Schichten aufgelockert (nach NÄGELI).

Dieſe transitoriſche Stärke wird endlich in den Reſervebehältern der perennirenden Pflanzen in größeren Sphäroïden angeſammelt und füllt dort die Zellen der Gewebe vollſtändig an.

Die Stärke iſt in kaltem Waſſer unlöslich, quillt in heißem Waſſer bei 70° C. zu einer geſtaltloſen Gallert (Kleiſter). Mit alkoholiſcher Jodlöſung, welche nach längerem Stehen ſtets geringe Mengen von Jodwaſſerſtoff (wohl auch Jodſäure) enthält, behandelt, lagert das Stärkekorn die Jodtheilchen ſo ein, daß es blau gefärbt erſcheint. Solche Jodſtärke verkleiſtert bei der Behandlung mit kochendem Waſſer nicht, ſo lange noch J in der Verbindung enthalten iſt.

---

[1]) NÄGELI, Die Stärkekörner. Zürich bei Fr. Schultheß. 1858.

Das Stärkekorn enthält einen wafferreicheren Kern, um welchen concentrifche oder excentrifche Schalen gelagert find, in diefen wechfelt die Dichte, beziehungsweife der Waffergehalt. Die lockeren, wafferreicheren Schalen erfcheinen im Mikrofkop mit rofarothem, die dichteren mit bläulich weißem Interferenzlichte.

Aus dem Stärkekorn wird durch Fermentation mit Speichel oder verdünnter Salzfäure eine Verbindung löslich und ausgezogen, die Granulofe. Nach diefer Behandlung hat das Korn feine Geftalt wenig geändert, aber die Jodreaction tritt jetzt nicht mehr ein. Die Reaction im polarifirten Lichte ift jetzt fchwächer. Nägeli ftellt fich den Körper des Stärkekornes als ein inniges Gemifch von Moleculen zweier Verbindungen vor, von welchen die eine die Granulofe, die andere die Cellulofe ift.

B. Wachsthum und Differenzirung des Stärkekornes[1]).

Die Wachsthumserfcheinungen der Stärke wurden zuerft von Nägeli in einer umfaffenden Monographie ftudirt. Dabei wurde eine Reihe der wichtigften Folgerungen über den molecularen Vorgang des Zellenwachsthums gewonnen.

1⁰ Das Korn wächft zur Geftalt einer Kugel und differenzirt fich in einen wafferreicheren Kern und eine dichte Schale. Es nimmt an Volum zu und differenzirt die dichte Schale in drei Schalen, eine dichte äußere, eine lockere und eine dichte, welche an den Kern grenzt. Die Differenzirung, welche während der Volum-, beziehentlich Maffezunahme ftattfindet, fchreitet von außen nach innen fort. Es kann dabei eine dichtere Schale in zwei dichte und eine fie trennende lockere zerfallen, aber auch umgekehrt kann in einer lockeren eine dichte fo auftreten, daß fie zwei lockere Schalen trennt. Der Kern und ein folches Schalenfyftem bilden ein einfaches Korn, Figur 117 *A*. Behandelt man folche Körner mit Reagentien oder warmem Waffer, welche nur eine mäßige Quellung veranlaffen, fo quellen der Kern und die lockeren Schichten ftärker, wie die dichten. Das Gebilde wird fo deformirt, wie es die Fig. 117 *B* demonftrirt.

Wächft das Korn im Wandbeleg des Protoplasma einer ftärkeführenden Zelle, fo ift es bei excentrifchem Wuchfe fo orientirt, daß der wafferreiche Kern dem Wandbeleg zugekehrt, das excentrifche Schichtungsfyftem Fig. 117 nach dem Zellenraum gerichtet ift.

[1]) Die Stärkekörner wachfen von der Größe einer kleinen Kugel von 1—2 mm, bis fie 4—6 mm Durchmeffer erhalten. Denkt man fich nun, daß die Maffe, welche aus der umgebenden Löfung verbraucht wird, von außen nach innen in das Korn vorfchreitend, eindringt, fo werden zunächft die Molecule der äußeren Schale in tangentialer Richtung auseinander weichen müffen, um die neu aufzunehmenden Theilchen zwifchen fich einzulagern. Diefe Einlagerung erfolgt in der äußeren Schale von Moleculen jeden-

2° Halb zuſammengeſetzte Körner entſtehen ſo, daß in früher Phaſe des Kornes der vorher weiche, lockere Kern erhärtet, indem er mehr feſte Molecule einlagert. In ihm differenziren ſich zwei und mehr waſſerreiche Kerne. Nunmehr wächſt das Korn durch Einlagerung ſo, daß um jeden Kern, wie vorher im einfachen Korn, zahlreiche Schichtenſyſteme gebildet werden, welche von dem urſprünglich zu dem ungetheilten Kern gehörigen Convolut eingehüllt erſcheinen. Fig. 119.

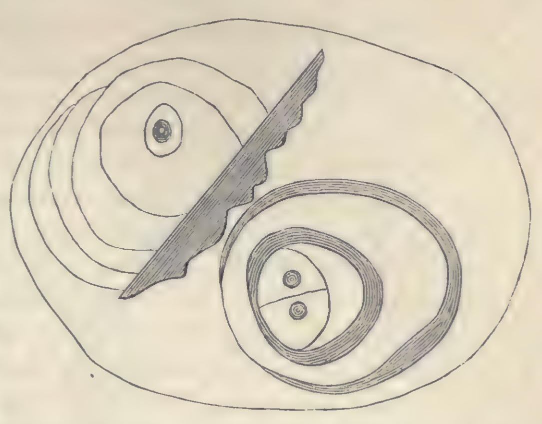


Fig. 119. Halb zuſammengeſetztes Korn mit einem Spalt, nach Nägeli.

---

falls, die Ausdehnung aber, welche für die Schale erfolgen müßte, wird durch die Cohäſion an die innere Schale überwunden. Es befindet ſich daher die äußere im Zuſtande der Compreſſion, ſie würde ſich zu größerem Volum ausbreiten, wenn nicht die jeweilig innere Schale einen Gegenzug ausübte. Die nothwendige Folge aber iſt, daß die innere Schale dadurch in den Zuſtand der Expanſion geräth, ſo lange beide Schalen nicht getrennt ſind, nicht von einander abreißen.

Die Kugelflächen a und b, Fig. 120, haben die Radien R und $R + D$, wo D die Dicke einer molecularen Schale bedeutet. Es wachſe nun die Kugel a um $1/a$, die Kugel b um $1/a$, die neuen Kugelflächen ſind alsdann:

$$4\pi R^2 (1 + 1/a);\ 4\pi (R + D)^2 (1 + 1/a).$$

Die Radien beider Kugeln verlängern ſich mithin von R auf $R\sqrt{1 + 1/a}$; $R + D$ auf $(R + D)\sqrt{1 + 1/a} = R\sqrt{1 + 1/a} + D\sqrt{1 + 1/a}$.

Fig. 118.

Der Abſtand beider Kugelflächen war urſprünglich D, jetzt iſt er $R\sqrt{1 + 1/a} + D\sqrt{1 + 1/a} - D\sqrt{1 + 1/a} = D\sqrt{1 + 1/a}$, der Zuwachs des Abſtandes iſt alſo $= D\sqrt{1 + 1/a} - D = D\left(\sqrt{1 + 1/a} - 1\right)$.

Die zwei Schichten würden ſich, wenn nicht die Cohäſion entgegen wirkte, alſo trennen, weil $D < D\left(\sqrt{1 + 1/a} - 1\right)$. Da ſie ſich thatſächlich nicht trennen, ſo muß eine Spannung entſtehen, ſo daß jede folgende Schicht expandirt, negativ geſpannt iſt zu jeder vorhergehenden, welche poſitiv geſpannt, alſo comprimirt iſt.

Nägeli wirft nunmehr zur Begründung der Lehre von der Intusſusception die Frage auf: wenn in der Kugel die Spannkräfte, welche durch das Eindringen der Nährlöſung erzeugt werden, in dem genannten Sinne vertheilt ſind, wo wird der Raum am erſten beſchafft werden für die Aufnahme neuer Molecule, welche dauernd eingelagert werden ſollen?

In der Fig. 123 ſeien p, o, p^1 kleinſte Theilchen oder Punkte, welche gleichen Abſtand beſitzen und in einer größten Kugelſchale liegen. Durch Erwärmung oder Wachsthum werden nun p und o auseinander ſtreben mit einer Kraft, deren tangentiale

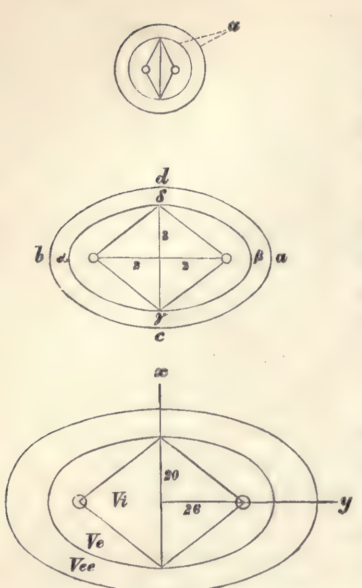


Fig. 120. Drei Zuſtände eines zuſammengeſetzten Kornes, nach Nägeli.

3⁰ Zuſammengeſetzte Körner. Die Differenzirung kann ſo raſch vor ſich gehen, daß die Maſſe der urſprünglich den Kern des einfachen Kornes einhüllenden Schicht verſchwindend klein wird. Die Theilkörner platten ſich gegenſeitig ab, 3, 4, 6, 8, 100, ja bis gegen 3000 Theilkörner bleiben in einem traubenförmigen Staubindividuum vereinigt. Dasſelbe zerfällt beim Zerreiben durch Spaltung in den Abplattungsflächen in die einzelnen Theilkörner, Fig. 122.

In allen dieſen Wachsthumsſtadien geht die Differenzirung ſo vor ſich, daß die äußerſte Hülle des Korns ſtets eine dichteſte Schicht iſt. Nägeli konnte zeigen, daß die Maſſe vorzugsweiſe im Innern eingelagert wird. Er konnte an jungen Körnern durch mikroſkopiſche Meſſung zwei Volume beſtimmen, dieſe in dem

---

Componente (K) durch $o\,u$, oder k' durch $o\,u'$ ausgedrückt ſei, da der Theil der Kugelſchale p afficirt iſt. Nach dem Parallelogramm der Kräfte iſt dann $K + k'$ die reſultirende von o und in radialer Richtung und k' iſt die aus K reſultirende Radialkraft. Dieſe iſt aber $K = K \sin \beta$.

Bei zwei verſchiedenen Kugelſchalen mit dem Radius $R\,m$, $R\,n$ hat man bei gleichem Abſtand der Punkte $p\;o$ die Gleichungen:

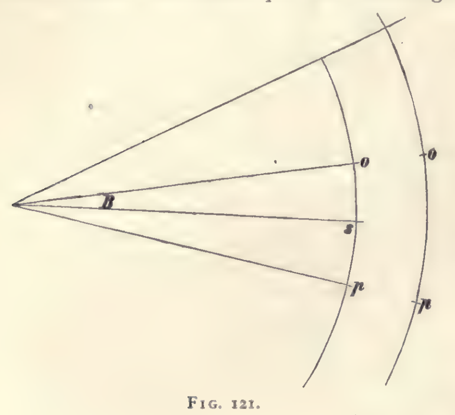


Fig. 121.

$$k\,m = K \sin Bm,$$
$$k\;n = K \sin Bn,$$

und es verhalten ſich die radialen Componenten alſo wie:

$$Rm : Rn = R \sin Bm : R \sin Bn =$$
$$= \sin Bm : \sin Bn.$$

Nun iſt $\frac{op}{2} = Rm \sin Bm$ in der einen $= Rn \sin Bn$ in der anderen Schale, mithin $Rm\;Bm = Rn\;Bn$.

Die Proportion getheilt durch dieſe Werthe, erhalten wir:

$$km : kn = \frac{K \sin Bm}{Rm \sin Bm} : \frac{K \sin Bn}{Rn \sin Bn} \text{ oder}$$

$$Rm : Rn = \frac{R}{Rm} : \frac{R}{Rn},$$

hieraus: $km : kn = \frac{1}{Rm} : \frac{1}{Rn}$.

Wenn in ungleich großen Kegelſchalen zwiſchen je zwei Punkten gleicher Entfernung die Flächenkräfte gleich groß ſind, ſo verhalten ſich die daraus reſultirenden

älteren, ſpäteren Stadium von Neuem aufſuchen, ſo fand er in einem Falle: ein ſcharf begrenztes inneres Volum verhielt ſich zu dem äußeren wie 1 : 63, im zweiten Wachsthumsſtadium wie 1 : 2, im dritten Stadium des ausgewachſenen Zuſtandes wie 4 : 1. Man vergleiche die Uebergänge in den Wachsthumsphaſen des in Fig. 120 dargeſtellten zuſammengeſetzten Kornes. Er fand den Wachsthumsgang in einem halb zuſammengeſetzten Korn von Kugelgeſtalt, Fig. 120 oben, in welchem die beiden Kerne nahezu in der Aequatorialebene

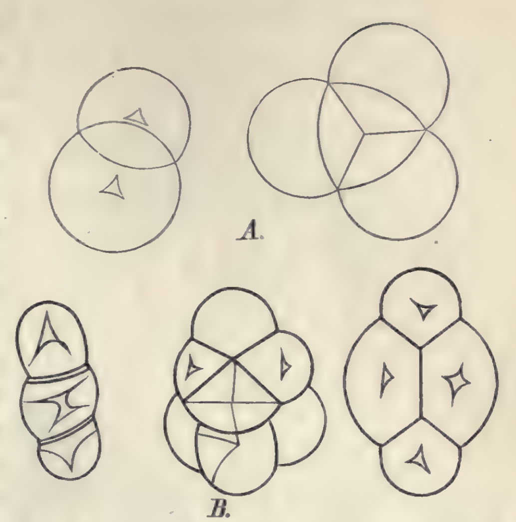


FIG. 122. *A* Stärke aus der Smilaxwurzel. *B* Stärke aus der Colchicumknolle.

Radialkräfte umgekehrt wie die Radien, hieraus aber kann die Spannung für alle conſecutiven Schalen leicht beſtimmt werden.

Jetzt ſoll nachgewieſen werden, daß im Innern des Korns dieſe Spannung am leichteſten eine Trennung der Schichten bewirkt, ſo daß neue Maſſe in die Hohlſchale, deren Dicke $(D \sqrt{1 + 1/a} - 1)$ iſt, eingelagert wird.

Denken wir uns alle Bewegungen in den verſchiedenen Molecularſchalen gleich, gleiche Größe und Entfernung der Molecule, und es folge nun ein Flächenwachsthum in gleichem Verhältniß, ſo ſind zwei Probleme zu löſen:

erſtens: das Verhältniß der Flächenkraft und Radialkraft, die ſich gegenſeitig das Gleichgewicht an der Kugelſchale halten;

zweitens: wie groß iſt die Spannung, welche zwei Kugelſchalen erleiden, wenn ſie eine gleiche Flächenausdehnung erfahren, ohne ſich trennen zu können?

Erſtes Problem. Ein Element der Flächenkräfte ſei *op*, Fig. 123, deſſen Stärke *c u* ſei, hat alſo die radiale Componente $k = K \sin B$. Es iſt aber $\frac{1}{2} op = R \sin B$, hieraus $\sin B = \frac{op}{2R}$, dieß in die obige Gleichung kommt $k = \frac{K\,op}{2R}$.

Jedes Element der Flächenkräfte ſetzt ſich ſomit in eine radial wirkende Kraft um, welche $= \frac{K\,op}{2R}$. Da nun ein Punkt von vielen anderen afficirt iſt, ſo iſt die Summe aller Radialcomponenten:

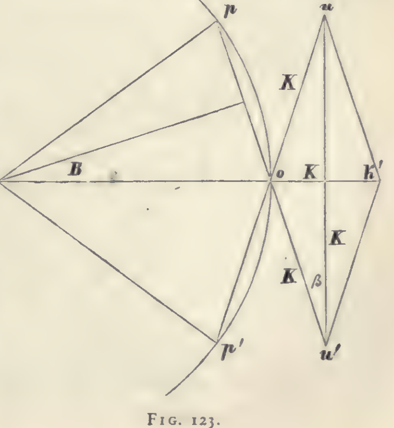


FIG. 123.

lagen und den Durchmeſſer in vier gleiche Theile markirten, indem er drei Volume ausmaß. Das innere Volum *Vi*, Fig. 120, wuchs von 1 auf 433, das mittlere, *Ve*, von 1 auf 131, das äußere, *Vee*, von 1 auf 4 Volumeinheiten heran.

Die kleinſten Theile ſtellen wir uns nicht allein in tangentialen Reihen (Schalen), ſondern auch in radialer Richtung (Kugelpyramiden) geordnet vor. Iſt das Korn kugelig und centriſch und wächſt zu einem Ellipſoïd centriſch heran, ſo kann man ſich dadurch die Kugelpyramiden in verſchiedener Weiſe verändert denken.

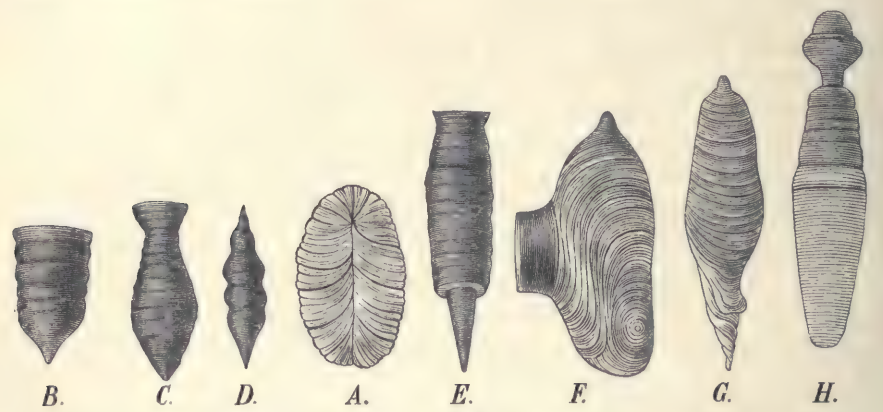


Fig. 124. *A* Kartoffelſtärke mit *Ca Cl* behandelt. *B* bis *H* Phajus grandiflorus, durch Reſorption verändert. (Trécul, *Ann. d. sc. nat. IV. 10. Formations véſiculaires.*)

Die Fig. 125 bedeute das Schichtenſyſtem eines ellipſoïden Korns, welches urſprünglich kugelig war, *a a* die kleine, *n n* die große Axe, die zur Ebene der Zeichnung ſenkrechte Axe kann gleich *a a* oder kleiner wie *a a* ſein. Die Theile $\left.\begin{matrix} a\ C\ c \\ c\ C\ n \end{matrix}\right\}$ ſind aus $^1/_8$ des kugeligen Korns hervorgegangen.

$$\sum K + K_2 + \ldots\ldots Kn = \sum \left[K_1 \frac{op'}{2} + K_2 \frac{op''}{2} + \ldots\ldots Kn \frac{op^n}{2} \right] \frac{1}{R}.$$

Wir können alſo ganz allgemein ſagen, daß jeder materielle Punkt, oder wenn wir in gleicher Weiſe mehrere materielle Punkte zu einer Flächeneinheit ſummiren, auch jede Flächeneinheit in zwei Kugelſchalen mit gleicher Flächenausdehnung, aber von ungleichem Radius eine radiale Kraft entwickelt, welche der Länge des Radius umgekehrt proportional iſt.

Das gleiche Reſultat kann auf anderem Wege abgeleitet werden, ſ. Nägeli a. a. O., S. 303. Bedeute *D* die Dicke einer Schaale, deren Breite ρ iſt. In derſelben wirkt die tangentiale Kraft *K*, welche das Auseinanderrücken der Theile, das Wachsthum der Schale erſtrebt. Die Summe aller Flächenkräfte in einem großen Kreis der Kugel iſt $2\ R\ \pi\ K\ D$. Dieſe Summe muß einem äußeren Druck k', welcher auf die Hemiſphäre geübt wird, das Gleichgewicht halten. Dieſer Druck aber iſt $k'\ 2\ R^2\ \pi$, wenn man ſich alle Elemente desſelben addirt denkt.

$\left.\begin{matrix} a\,C\,b \\ b\,C\,c \\ c\,C\,d \\ d\,C\,n \end{matrix}\right\}$ $^1/_{16}$ des urſprünglich kugeligen Korns. $\left.\begin{matrix} d\,C\,e \\ e\,C\,n \end{matrix}\right\}$ $^1/_{32}$. $\left.\begin{matrix} c\,C\,f \\ f\,C\,n \end{matrix}\right\}$ $^1/_{64}$.

$\left.\begin{matrix} f\,g\,C \\ g\,C\,n \end{matrix}\right\}$ $^1/_{128}$. $\left.\begin{matrix} g\,C\,h \\ h\,C\,n \end{matrix}\right\}$ $^1/_{256}$. $\left.\begin{matrix} h\,C\,i \\ i\,C\,n \end{matrix}\right\}$ $^1/_{512}$. $\left.\begin{matrix} i\,C\,J \\ J\,C\,h \end{matrix}\right\}$ $^1/_{1024}$.

Der rechte obere Quadrant, Fig. 125 *a k, k l, l m* u. ſ. f. veranſchaulicht dagegen das Wachsthum unter der Vorausſetzung, daß die Zunahme der mit der Oberfläche parallelen Fläche auf jedem Punkt die nämliche und daß nur die Zunahme der Dicke verſchieden ſei.

Der untere rechte Quadrant derſelben Figur iſt nach der Vorausſetzung conſtruirt, daß die Volumenzunahme in allen Feldern gleichmäßig und daß die Verſchiedenheit im Wachsthum blos zwiſchen inneren und äußeren Schichten beſtehe.

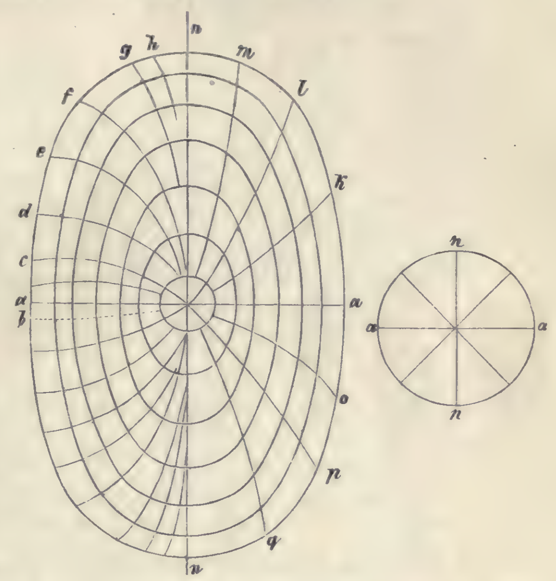


FIG. 125. Schema der Wachsthumsvorgänge im Innern eines Stärkekornes (nach NÄGELI a. a. O.).

Die Flächen in einer Schicht zwiſchen $\overline{n\,q}$, $\overline{q\,p}$ u. ſ. f. ſind hier gleich. Dieſe letzteren Annahmen fordern eine Verſchiebung der kleinſten

---

Betrachtet man zunächſt den Druck, der auf die ſchmale Kugelzone *o p*, Fig. 127 A. wirkt, deren Radius $R \sin B = \rho$ iſt. Ihre Breite iſt $R\,d\,B = l$. Die Fläche *o p* der Zone iſt ſomit $F = 2\,\rho\,\pi\,l$
$= 2\,\rho\,\pi\,R\,d\,B$. ρ iſt nun, durch R ausgedrückt, gleich $\sin B\,R$, mithin iſt die Fläche $= 2\,R\,2\,\pi \sin R\,d\,B$. Die Kraft K iſt nun für den Druck auf den größten Kreis oder die Grundfläche der Halbkugel nur mit der Componente *o v* wirkſam. *o v* iſt $\cos B\,K'$. Die Kraft auf die Zone *o p* iſt ſomit gleich $K'\,2\,R^2\,\pi \sin R\,d\,B \cos B$.

Der Ausdruck wird nach $\frac{d \sin x}{d\,x} = \cos x\,.\,d \sin x = \cos x\,d x$ zu $K'\,2\,R^2\,\pi \sin B\,d \sin B$.

Das Integral zwiſchen den Grenzen $\sin B = 1$, $\sin B = 0$ iſt $K'\,2\,R^2\,\pi \int \sin B\,d \sin B = \left[\frac{\sin^2 B}{2}\right]_0^1 K'\,2\,R^2\,\pi$. Führt man die Integration aus, ſo erhält man:

$K'\,2\,R^2\,\pi\,\frac{\sin^2 90^0}{2} - K'\,2\,R^2\,\pi\,\frac{\sin^2 0^0}{2} = {}^1/_2\,K'\,R\,R^2\,\pi = K\,R^2\,\pi$. Dieß iſt alſo die Hälfte des Geſammtdrucks, welcher auf der Halbkugel laſtet.

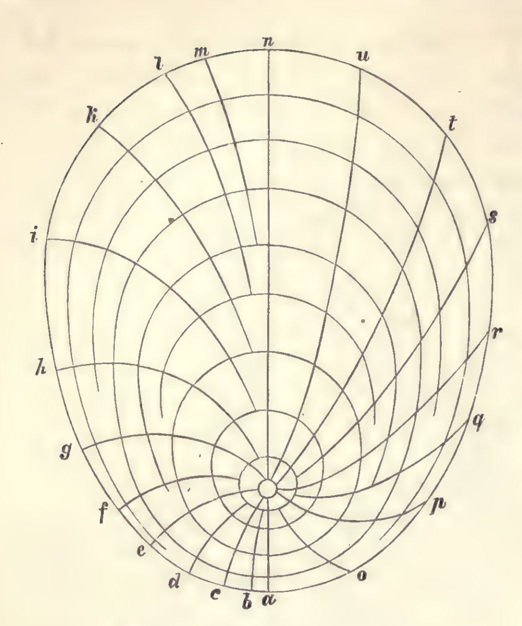


Fig. 126. Excentriſch geſchichtetes Stärkekorn nach Nägeli. *a C e*, *e C n* entſprechen einem Viertel, *a C c*, *c C e*, *e C g*, *g C n* entſprechen einem Achtel des Querſchnittes des urſprünglich kugeligen Kornes.
a C b, *b C c*, *c C d*, *d C e* u. ſ. f. bis *h C n* jedes gleich 1/16.
h C i, *i C n* jedes gleich 1/32,
i C k, *k C n* » » 1/64,
k C l, *l C n* » » 1/128,
l C m, *m C n* » » 1/256.

Theile. Das Maaß dieſer Verſchiebung wird durch die Größe angegeben, um welche der Winkel, den die Radien *Ck*, *Cl*, *Cm*, *Co*, *Cp*, *Cq* in jedem Punkte mit den Schichten bilden, von einem rechten abweicht.

Für excentriſche geſchichtete Körner, Fig. 126, ſind die einzelnen Theile auf der linken Seite der Figur durch die nachfolgend verzeichneten Werthe definirt:

a Ce, *e Cn* } 1/4 d. urſprüngl. Korns, *h Ci*, *i Cn* } 1/32,
a Cc, *c Ce* } 1/8 » » » *i Ck*, *k Cn* } 1/64,
e Cg, *g Cn* } 1/8 » » » *k Cl*, *l Cn* } 1/128,
a Cb, *b Cc*, *c Cd*, *d Ce*, *e Cf*, *f Cg*, *g Ch*, *h Cn* } 1/16 » » » *c Cn*, *mCn* } 1/256.

Die rechte Hälfte iſt mit Rückſicht auf gleiches Flächenwachsthum der Schichten conſtruirt: $a\,o = o\,p = p\,q = a\,C\,o = o\,C\,p = p\,C\,q = q\,C\,r$, wo *C* das Schichtencentrum bedeutet; auch hier wird die Verſchiebung der radialen, hintereinander liegenden Theilchen, welche mit dieſer Annahme nothwendig verbunden iſt, durch die ſpitzen Winkel deutlich, welche die nach *o p q* u. ſ. f. verlängerten Linien mit den Schichten bilden.

Wird angenommen, daß eine Verſchiebung nicht ſtattfindet, ſo läßt

---

Man hat ſomit die Gleichung $2\,R\,K\,\pi\,D = K'\,R^2\,\pi$. Hieraus ergibt ſich $K' = \frac{2\,R\,K\,\pi\,D}{R^2\,\pi} = \frac{2\,K\,D}{R}$, d. h. die Radialkraft, welche einer Tangentialkraft oder Flächenkraft in Hohlkugeln von gleicher Dicke und gleicher Beſchaffenheit, aber von ungleichem Halbmeſſer das Gleichgewicht hält, ſteht im umgekehrten Verhältniß der Radien. Dieſes Reſultat beruht darauf, daß ein Druck, der auf alle Punkte einer Halbkugel wirkt, in ſeinem Effect auf die Grundfläche gleich iſt dem Druck auf dieſe Grundfläche ($\pi\,R^2$)

ſich aus den Veränderungen in Geſtalt und Schichtung des Korns ein Schluß ziehen auf die Zunahme in jedem Theil. Die Körner von Canna lagunenſis erlangen eine Größe von 170 micr. und eine Excentricität von 1 : 70.

Die Oberfläche berechnet ſich zu 32.500 □micr. im ausgewachſenen Zuſtand. Das junge kugelige Korn hat eine Oberfläche von 28 □ micr. Die Oberfläche hat ſomit zugenommen um das $\frac{32.500}{28} = 1160{,}7$ fache. Die

---

ſelber; die Gleichungen $K' = \frac{2\pi D}{R}$; $K = \frac{K' R}{2 D}$ ſind allgemein giltig für beliebige Kugelcalotten.

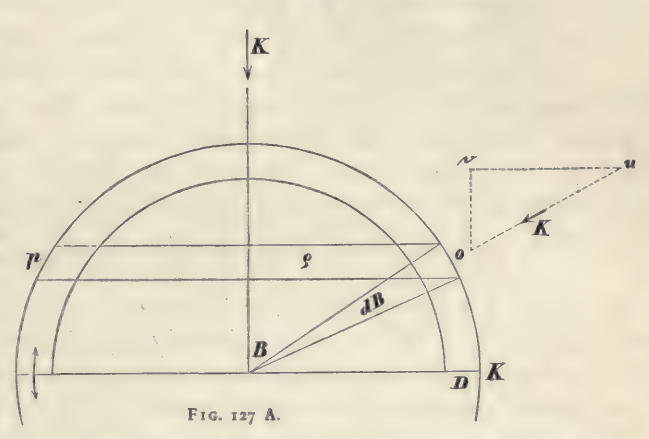


Fig. 127 A.

Aehnliches gilt für den Cylinder. Stellt dieſelbe Fig. 127 A den Querſchnitt eines Cylindermantels dar, ſo müſſen $K D L + K D L$ (wo D die Dicke des Cylindermantels, L deſſen Länge bedeuten) dem Drucke auf die Oberfläche das Gleichgewicht halten. Der Druck auf ein Cylinderſegment iſt $K L R\, d B$, die allein zu berückſichtigende Componente iſt $K' \cos B$ und die ganze Kraft, welche antagoniſtiſch zu K wirkt, iſt $K L R \cos B\, d B$, in der Cylinderhälfte aber $2\, k\, L\, R \int \cos B\, d\, B = 2\, k\, L R \int d \sin B$ und in der ganzen Fläche $2\, K\, L\, R \int \cos B\, d\, B = 2\, K\, L\, R \int d \sin B$. Die Integration zwiſchen den Grenzen $\sin B = o$ und $\sin B = 1$ ausgeführt, kommt $2\, \pi\, L\, R \int_0^1 d \sin B = 2\, K\, L\, R$, alſo iſt $2\, K\, D\, L = 2\, K'\, L\, R$ o $K = \frac{K' R}{D}$, $k = \frac{K D}{R}$.

Das Verhältniß zwiſchen Flächenkraft und radialer Kraft iſt alſo dasſelbe, wie in der Kugel, nur iſt die Radialkraft doppelt ſo groß.

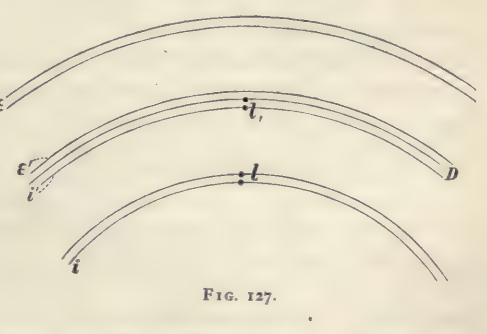


Fig. 127.

Zweites Problem. Die Kugelſchalen ε *i*, Fig. 127, werden, wenn die Einlagerung neuer Theile in tangentialer Richtung erfolgt, auseinander weichen, wenn nicht die Adhäſion ſie hinderte. Beide wachſen nämlich um $^1/_a$, d. h. *i* wächſt von $4 R^2 \pi$ auf $4 R^2 \pi + \frac{4 R^2 \pi}{a}$, die anderen von $4 (R + D)^2 \pi$ auf $4 (R + D)^2 \pi + \frac{4 (R + D)^2 \pi}{a}$. Hieraus ergibt ſich der Abſtand, wenn die Schalen ſich zu trennen vermöchten, auf $D (\sqrt{1 + {}^1/_a} - 1)$. Der

äußere Schicht hat ihrem Volum nach um das 8125fache zugenommen. Wird das junge Korn in Pyramiden zerlegt, ſo nimmt die äußere Schicht jeder Pyramide 1,75 □micr. ein. Im ausgewachſenen Zuſtand haben aber die den kurzen Radius umgebenden Pyramiden eine Fläche von je 4 □micr., die Pyramidenſtücke *c C e* je 13 □micr., *e C g* je 196 □ micr. und die den langen Halbmeſſer umgebende *g C n* je 7912 □micr. Die Flächenzunahme beträgt alſo in urſprünglich gleichen Partieen das $2^2/_7$-, $7^3/_7$-, 112-, 4521-fache der anfänglichen Ausdehnung, und am hinteren Ende iſt ſie 1979mal größer als am vorderen.

Zerlegt man die Kugel und das Ellipſoïd in noch mehr Pyramiden, ſo kommen noch andere Verhältniſſe heraus. So z. B. bei Fig. 126 entſpricht eine Partie vom langen Halbmeſſer dem 16.384ſten Theil des urſprünglich kugeligen Korns, die äußerſte Schicht dieſer Parthie enthält 28 □micr., während an einer gleichen Parthie am kurzen Radius weniger als $\frac{16{,}4}{16384} = {}^1/_{256}$ □micr. enthalten iſt. Die Flächenzunahme war alſo am erſten Ort $256 \times 28 = 7168$mal größer.

Der Cubikinhalt des jungen Korns beträgt 14 Cub.-micromillimeter, mithin beträgt der Cubikinhalt jeder der 16 Pyramiden 1 cb.-micr. annäherungsweiſe. Der Cubikinhalt im ausgewachſenen Korn: die vier Pyramiden *a C c*, *c C e*, *e C g*, *g C n* verhalten ſich wie 5:26:749:75.720 cb.-micr.

Die Pyramide am langen Radius hat $\frac{75720}{5} = 15.144$mal mehr zugenommen, als am kurzen.

Die Volumzunahme am hinteren Ende iſt 73.800mal größer, als am vorderen Ende *c*.

Ausdruck iſt unabhängig von *R*. Die Entfernung iſt um ſo größer, je größer der Wachsthumscoëfficient ($^1/a$) und um je größer *D* die Dicke der Schalen iſt.

Die Radien verlängern ſich, wenn das Wachsthum ungehindert erfolgte, von *R* auf $R\,(1 + {}^1/a)$ $R + D$ auf $(R + D)\,(1 + {}^1/a)$. Setzen wir den Wachsthumscoëfficienten ${}^1/a = x$, ſo wachſen *R* auf $R\,(1 + x)$, $R + D$ auf $(R + D)\,(1 + x)$. Der Abſtand der Grenzfläche, früher *o*, iſt nach dem Zuwachs $R(1 + \alpha) + D(1 + \alpha) - R(1 + \alpha) - D = D\alpha$.

Nun wachſen aber die Kugelſchalen nicht ſo, daß ſie dieſe Entfernung erlangen, denn da ſie verwachſen bleiben, erhalten ſie die mittlere Ausdehnung beider, welche in $\varepsilon'\, i'$ dargeſtellt iſt, bezogen auf die Lage $\varepsilon\, i$, wenn beide unverbunden gedacht werden. Es bedeute nun *F i*, *F e* die Mittelflächen der beiden Kugelſchalen, wenn ſie in der Lage $\varepsilon\, i$, alſo in Spannung ſich befinden, ſo verhält ſich $F i : F i_1 = F e_1 : F e$.

Dieſe Proportion drückt aus, daß durch die Spannung die innere Schicht *i* über den Zuwachs (um $^1/a$) gedehnt iſt und ſich in *i* befindet, während *F e* durch den Zuwachs um $^1/a$ im freien Zuſtand in ε ſein würde durch die Dehnung von *i*, aber in $\varepsilon'\, i$ iſt. Die Ausdehnung von *i* hat um ſoviel gewonnen, wie die von ε verloren hat. Wie die Kugelflächen verhalten ſich die Quadrate der Radien, mithin:

$R i^2 : R i_1^2 = R e_1^2 : R e^2$ und $R i : R i_1 = R e_1 : R e$; ſetzen wir hierin die Werthe $R\,(i + \alpha)$ für $R i$ und $R i' + D$ für $R i$, ſo erhalten wir $R(1 + \alpha) : R i' = R i' + D : (R + D)\,(1 + \alpha)$,

Dieß iſt aber noch nicht die größte Ungleichheit in der Volumzunahme der verſchiedenen Partieen am Korn. Beim Kartoffelſtärkekorn ſehen wir, daß die ganze innere Maſſe 234mal mehr zunimmt, als die äußere Schicht. Das Cannakorn verhält ſich ebenſo. Die Rindenſchicht hat alſo hier bei einer Pyramide am vorderen Ende 234,73800 = 17.269.200mal weniger zugenommen, als diejenige innere Maſſe einer gleichen Pyramide am hinteren Ende, und der Unterſchied in der Volumzunahme würde noch beträchtlicher, wenn wir die äußere Schicht am kurzen Radius mit derjenigen des langen vergleichen könnten, welche am ſtärkſten ſich vergrößert hat.

Angenommen, in dem vorliegenden Fall habe an einer Pyramide, welche den 16.384ſten Theil des Korns ausmacht, am vorderen Ende die Rindenſchicht von 0,0008 auf 0,0026 cb.-micr. zugenommen, bis das Korn ausgewachſen iſt, alſo von 1 auf 3,3, die innere Maſſe einer Pyramide des hinteren Endes aber von 0,000005 auf 280 cb.-micr., alſo von eins auf 56.000.000, ſo iſt die Zunahme hier etwa 17.000.000 ſtärker, als dort.

Angenommen, derſelbe komme von dem Durchmeſſer mit 3 micr. in 6 Wochen zum ausgewachſenen Zuſtand, ſo beträgt der Wachsthumscoëfficient für die Rindenſchicht während einer Stunde am vorderen Ende 0,001, für die innere Maſſe am Verdickungsradius 0,018 für die Stunde. Das Volum am erſten Ort wächſt in der Stunde von 1000 auf 1001, am zweiten Orte

---

hieraus die Gleichung $R\,i' \,(R\,i' + D) : (R + D)\,(1 + \alpha)^2$; $R\,i^2 + D = (R + D)\,(1 + \alpha)^2$

und nach $\left(\begin{array}{l} x^2 + a\,x\,b \\ x = -\frac{a}{2} + \sqrt{\frac{a^2}{4} + b} \end{array}\right)$

$$R\,i' = -\frac{D}{2} + \sqrt{\frac{D^2}{4} + (R^2 + R\,D)\,(1 + \alpha)^2}; \quad R\,e' = + \frac{D}{2}$$

$+ \sqrt{\frac{D^2}{4} + (R^2 + R\,D)\,(1 + \alpha)^2}$; hieraus berechnet ſich leicht der Abſtand $\varepsilon\,\varepsilon'$ und $i\,i'$. Wir nehmen dieſe als gleich groß an und vernachläſſigen bei geringem Zuwachs die weiteren Differenzen. Die Entfernung der Mittelflächen von ε und i beträgt $D\,(1 + \alpha)$, diejenige ihrer Grenzflächen $D\,\alpha$, der Abſtand der Löthfläche iſt ſomit $\frac{D\,\alpha}{2}$. Die Radien der inneren und äußeren Kugelſchale ſind ſomit im Zuſtande der Spannung und annäherungsweiſe der innere $R\,(1 + \alpha) + \frac{D\,\alpha}{2}$, der äußere $(R + D)\,(1 + \alpha) - \frac{D\,\alpha}{2}$.

Betrachten wir für die Spannkraft zunächſt die innere Kugelſchale, deren Radius im nicht geſpannten Zuſtand $R\,(1 + \alpha)$, im geſpannten Zuſtand $R\,(1 + \alpha) + \frac{D\,\alpha}{2}$. Der Radius iſt alſo durch Spannung um $\frac{\frac{D\,\alpha}{2}}{R\,(1 + \alpha)}$ gedehnt; es iſt dieß der Ausdehnungscoëfficient der Kugelſchale, [denn wenn l die Längeneinheit der inneren Hohlkugel im

von 1000 auf 1018 Volumeinheiten. Dieſer Unterſchied bewirkt nach ſechs Wochen, daß das erſte Volum 17,000,000 mal größer wird, als das zweite. Dieß ergibt ſich mit Leichtigkeit aus der Rechnung: die Maſſe m des Korns wächſt in den Zeiteinheiten $m \cdot m\left(1+\frac{1}{a}\right);\ m\left(1+\frac{1}{a}\right)^2 \ldots . m\left(1+\frac{1}{a}\right)^n$.

In 1008 Stunden (6 Wochen) verhalten ſich die gewählten Orte, da die langſamſt wachſende Parthie in der Stunde von 1000 auf 1001, die raſcheſt wachſende von 1000 auf 1018 zunimmt, ſo daß die eine in 1008 Stunden von 0,0008 auf 0,0026 cb.-micr., die andere von 0,000005 auf 280,0 cb.-micr. heranwächſt (alſo $0{,}0008\left(1+\frac{1}{a\,1}\right)^{1008} = 0{,}0026$, woraus $\frac{1+1}{a\,1} = \sqrt[1008]{\frac{0{,}0026}{0{,}0008}}\ 1{,}0011$ und $\frac{1}{a\,1} = 0{,}0011$. Ebenſo $0{,}000005\left(1+\frac{1}{a\,2}\right)^{1008} = 280$, woraus $1+\frac{1}{a\,1} = \sqrt[1008]{\frac{280}{0{,}000005}} = 1{,}0178$ und $\frac{1}{a\,2} = 0{,}0178$).

Würde das Korn, ſtatt in 6 Wochen, ſein Wachsthum in 3 Wochen (504 Stunden) vollenden, ſo würden die Zunahmen ſein:

Die langſamen	Theile	von	1000 auf	1002	Volumtheile in der Zeiteinheit,	
» raſch wachſenden	»	»	1000 »	1036	»	ferner
» langſam	»	»	1000 »	1005	»	für 252 Stunden der Wachsthumsdauer.
» raſch	»	»	1000 »	1073	»	
» langſam	»	»	1000 »	1009	»	für 126 Stunden der Wachsthumsdauer.
» raſch	»	»	1000 »	1152	»	
» langſam	»	»	1000 »	1019	»	für 63 St. = 2½ Tage.
» raſch	»	»	1000 »	1327	»	» » » » » » .

Hieraus ergibt ſich, wie oben ſchon angedeutet, das Verhältniß im langſam und ſtark wachſenden Ort wie 1 zu 17 Millionen.

---

ungeſpannten, l' die im geſpannten Zuſtande iſt, ſo verhalten ſich $R : R^1 = l : l'$ und es iſt $l' = \frac{l R_1}{R} = l\left[1 + \frac{\frac{D\alpha}{2}}{R(1+\alpha)}\right]$. Daraus folgt, daß $\frac{D\alpha}{2R(1+\alpha)}$ der Ausdehnungscoëfficient für den Bogen der Kugelſchale iſt.

Die tangentiale oder Flächenkraft iſt nun gleich dem Product aus dem Ausdehnungs- und Elaſticitätscoëfficienten q, alſo $K = q \cdot \frac{D\alpha}{2R(1+\alpha)}$. Die radiale Kraft läßt ſich nun aus dieſer und der früheren Formel für das Verhältniß der radialen und tangentialen Kraft ableiten; die frühere Gleichung war $K = \frac{2KD}{R}$, ſetzt man hierin für K den Werth $\frac{qD\alpha}{2(1+\alpha)R}$, ſo erhalten wir die radiale Kraft

$$K = \frac{2qD^2\alpha}{2(1+\alpha)R^2} = \frac{D^2\alpha}{(1+\alpha)}\,q\,\frac{1}{R^2}.$$

C. Argumente für die Intussusception.

Sieht man zunächft von Hypothefen über die Molecularconftitution ab, fo gelangt man nach einem Ueberblick über die Vorgänge der Anlagerung neuer Zellen durch Appofition zu einer Reihe ganz fchlagender Beweisgründe für die Einlagerung von kleinften Theilchen (Moleculen) zwifchen die vorhandenen kleinften Theilchen, aus welchen der wachfende Pflanzentheil befteht.

Das Längenwachsthum der Stämme beruht ficherlich im Groben und von außen betrachtet darin, daß zu vorhandenen Zellen neue hinzukommen, fich anlagern. Ebenfo find die Jahrringe der Bäume durch Appofition entftanden. Jede Zelltheilung aber fetzt voraus, daß die fichtbaren Gewebe

---

Betrachten wir den äußeren Radius, derfelbe ift im nicht gefpannten Zuftand der Schale $(R + D)(1 + \alpha)$ und im gefpannten $(R + D)(1 + \alpha) - \frac{D\alpha}{2}$. Der Ausdehnungscoëfficient ift fomit $\frac{\frac{D\alpha}{2}}{(R + D)(1 + \alpha)}$, die Flächenkraft fomit wie vorher

$K = q \frac{D\alpha}{2(R + D)(1 + \alpha)}$, die radiale Kraft aber $k = q \cdot \frac{D^2\alpha}{(1 + \alpha)} \cdot \frac{1}{(R^2 + 1/2\, R + D}$.

Wir haben, indem wir den Unterfchied des Radius der inneren Kugelfchale im natürlichen und gefpannten Zuftande $(R i^1 - R i)$ gleich fetzten dem Unterfchied der Radien der äußeren Schicht $(R e - R e^1)$, jenen etwas zu groß, diefen etwas zu klein angenommen. Daher zeigt die Spannung, je nachdem man fie aus dem Verhalten der inneren oder der äußeren Schale ableitet, nicht die gleichen Werthe, jene ift etwas zu groß, diefe etwas zu klein.

Beide müffen natürlich gleich fein, wir geben ihnen den der mathematifchen Genauigkeit nahekommenden Werth:

$$\frac{D^2\alpha}{1 + \alpha}\, q \left(\frac{1}{2R^2} + \frac{1}{2R^2 + RD}\right) \text{ oder auch } \frac{D^2\alpha}{1 + \alpha}\, q \frac{1}{R^2 + 1/2\, RD}.$$

Wenn alfo zwei fich berührende Kugelfchalen von gleicher Dicke und gleicher Elasticität um einen gleichen Quotienten in die Fläche wachfen, fo verhält fich die Kraft, mit der fie fich von einander zu trennen ftreben, umgekehrt proportional einer Größe, die dem Quadrat der Radien gleichkommt, wenn D im Verhältniß zu R fehr klein wird, und die Größen nähern fich dem Quadrat der Radien, wenn D zunimmt oder R abnimmt.

Spannung im Cylinder.

Die Mittelflächen der Cylindermäntel haben die Radien R und $R + D$, es betragen dann die Mittelflächen $2\pi L R$, $2\pi L (R + D)$, wobei L die Länge des Cylinders bedeutet. Beide Flächen wachfen um $1/a$, alsdann werden die Flächeninhalte

$$Fi = 2\pi L R + \frac{2\pi L R}{a};\quad Fe = 2\pi L (R + D) + \frac{2\pi L (R + D)}{a}$$
$$= 2\pi L R \left(1 + \frac{1}{a}\right); = 2\pi L (R + D)\left(1 + \frac{1}{a}\right).$$

Die Radien haben fich verlängert

für kleinste Theile durchlässig sind. In jeder Zelle müssen Vorgänge der Intussusception herrschen. Das Splintholz wird zum Kern, nimmt dabei zu an Dichte und Kohlenstoffgehalt, ohne an Volum zu gewinnen. Jede Zelle entläßt gelöste Theile, nimmt andere dafür auf. Der elementare Vorgang in den verwickelten Processen der Ernährung muß darauf beruhen, daß zunächst gelöste feste Theile zwischen vorhandene feste kleinste Theile derjenigen Membranen eingelagert werden, welche an die Medien (Wasser, Atmosphäre) grenzen, aus welchen die Rohnährstoffe eingeführt werden.

Aus den scharfsinnigen Studien Nägeli's lassen sich die folgenden Argumente zusammenstellen:

1^0 In wachsenden Stärkekörnern beobachtet man für alle Phasen des Wachsthums, daß das später geschichtete Korn stets von einer dichten Außenschicht begrenzt ist.

2^0 Die Schichtung und sonstige Anordnung ist im ausgewachsenen Stärkekorn im Centrum niemals identisch mit der Structur des jungen Kornes.

---

von R auf $\left(R+\frac{1}{a}\right)$; $(R+D)$ auf $R\left(1+\frac{1}{a}\right)+D\left(1+\frac{1}{a}\right)$.

Der Abstand der Mittelflächen ist jetzt von D auf $\left(D+\frac{D}{a}\right)$, der Abstand der Grenzflächen von o auf $D\left(1+\frac{1}{a}\right)-D=\frac{D}{a}$, d. h. wenn sie sich trennen würden, gewachsen. Trennen sie sich nicht, findet also Spannung statt, so gestaltet sich die Sache so: Nennen wir Fläche und Radien $Fi\ Ri$ des inneren, $Fe\ Re$ des äußeren im ungespannten Zustand, und im gespannten $Fi^1\ Ri^1\ Fe^1\ Re^1$, so besteht die Proportion $Fi:Fi^1 = Fe_1:Fe$; $Ri:Ri_1' = Re_1':Re$, und hieraus, indem wir die obigen Werthe wieder einsetzen, $Ri = R\,1+\frac{1}{a}$; $Re = (R+D)\left(1+\frac{1}{a}\right)$; $Re' = Ri_1 + D$, bekommt die Proportion die Gestalt: $R\left(1+\frac{1}{a}\right):Ri' = (Ri'+D):(R+D)\left(1+\frac{1}{a}\right)$; hieraus wird die unbekannte Ri' bestimmt: $Ri^{1\,2}+Ri_1\,D = (R^2+R\,D)\left(1+\frac{1}{a}\right)^2$ und

$$Ri^1 = -\frac{D}{2}+\sqrt{\frac{D^2}{4}+(R^2+R\,D)\left(1+\frac{1}{a}\right)^2},\ \text{sowie}$$

$$Re' = +\frac{D}{2}+\sqrt{\frac{D^2}{4}+(R^2+R\,D)\left(1+\frac{1}{a}\right)^2}.$$

Vernachlässigen wir wieder den kleinen Fehler, indem wir gleich setzen $Ri'-Ri = Re'-Re = \frac{D}{2a}$, welcher Werth die Dehnung von Ri und Verkürzung von Re ausdrückt, so ist im gespannten Zustand das System $Ri' = R\left(1+\frac{1}{a}\right)+\frac{D}{2a}$; $Re = R+D\left(1+\frac{1}{a}\right)-\frac{D}{2a}$. Der Ausdehnungscoëfficient ist demnach $\frac{\frac{D}{2a}}{2R\left(a+\frac{1}{a}\right)} = \frac{D}{2R(a+1)}$. Dieß gilt auch für jeden Bogen des Cylindermantels.

3⁰ Später geſchichtete Körner wachſen zu einem Volum heran, deſſen Radius einem Multiplum der Schichtendicke entſpricht, ohne daß die geforderte Schichtenzahl vorhanden wäre. Die Schichtung in Schalen verſchiedenen Waſſergehaltes tritt als eine nachträgliche Differenzirung in beſtimmter Wachsthumsphaſe auf.

4⁰ Die Anzahl der Schichten wird durch waſſerentziehende Mittel vermindert, durch Waſſerzufuhr vermehrt.

5⁰ In der Stammzelle der Caulerpa wächſt die Cylinderwand mit größerer Intenſität, wie der Zellſtoffbalken, jene differenzirt ſich mit vielen, 20, 50, 100, dieſer nur mit 3—4 Schichten. Fig. 89.

Nach den Anforderungen der Appoſition müßte der Zellſtoffbalken im Durchſchnitte die doppelte Anzahl der Schichten zeigen, welche in der Cylinderwand abgezählt werden.

6⁰ Aus den Meſſungen von Nägeli (ſ. oben S. 104 ff. und Fig. 120) ergibt ſich in wachſenden Stärkekörnern die größere Maſſenzunahme im Innern des Kornes.

Die Flächenkraft der Spannung iſt nun $K = q \cdot \frac{D}{2R(a+1)}$. Die radiale Componente nach der Formel $K = \frac{KD}{R}$ (ſ. oben) iſt nun $K = \frac{D}{R}\, q\, \frac{D}{2R(a+1)} = \frac{D^2}{2(a+1)}\, q\, \frac{1}{R^2}$ für den inneren Cylinder. Für den äußeren iſt er $(R + D)\left(1 + \frac{1}{a}\right)$ ohne und $(R + D)\left(1 + \frac{1}{a}\right) - \frac{D}{2a}$ mit Spannung. Der Ausdehnungscoëfficient iſt mithin

$$\frac{\frac{D}{2a}}{(R + D)\left(1 + \frac{1}{a}\right)} = \frac{D}{2(R + D)(a + 1)}.$$

Die durch die Spannung erzeugte Flächenkraft iſt $K = q\, \frac{D}{2(R + D)(a + 1)}$. Die radiale Componente iſt nach früheren

$$K = \frac{D}{R}\, q\, \frac{D}{2(R+D)(a+1)} = \frac{D^2}{2(a+1)}\, q\, \frac{1}{R^2 + RD}$$

und kann geſetzt werden

$$\frac{D}{2(a+1)}\, q \left(\frac{1}{2R^2} + \frac{1}{2(R^2 + R + D)}\right) \text{ oder } \frac{D}{2(a+1)}\, q \left(\frac{1}{R^2 + \frac{1}{2} RD}\right).$$

Die Cylinder verhalten ſich alſo wie die Kugelſchalen, d. h. die durch gleichmäßige Einlagerung bewirkte Spannung wirkt in radialer Richtung mit einer Kraft, die annähernd umgekehrt proportional dem Quadrat der Radien iſt.

Aus den bisherigen Betrachtungen ergibt ſich:

1⁰ daß das Wachsthum im Stärkekorn eine Spannung hervorbringt, welche die Schichten von einander zu trennen ſtrebt,

2⁰ daß dann die Kraft, mit der ſie ſich zu trennen ſtreben, um ſo größer, je kleiner der Krümmungsradius iſt.

Nimmt man in einem kugeligen Korn die Schichtendicken gleich für alle Schichten, ſo verhalten ſich die Kräfte in den Schichten:

Von dieser Theorie der Differenzirung in Schalen verschiedenen Wassergehaltes muß auseinander gehalten werden die Schalenbildung durch Apposition neu entstehender Membranen, welche den älteren Membranen dicht angrenzen, an diesen im Laufe der Entwickelung selbst vorbeigeschoben werden können. Dahin gehören die Zellwände der Œdogonien und der Diatomeen (s. oben S. 61. 62).

D. Chemische Reactionen der Cellulose und deren Derivate[1]).

Die jugendliche Pflanzenmembran verändert mit der Zeit ihre Textur und chemische Beschaffenheit. Die chemischen Processe hierbei sind

[1]) v. MOHL, Botan. Ztg. 1847. — NÄGELI, Sitzungsber. der Münchener Acad. der Wissenschaften. 1863. — FRÉMY, *Compt. rend. 1859.* — KABSCH, PRINGSHEIM's Jahrb. III. über die chemische Beschaffenheit der Pflanzengewebe.

Schichten, von innen gezählt. Radienlänge.	Kraft.
5	10000
10	2500
50	100
100	25
250	4
500	1

NÄGELI nahm dabei an, daß das Wachsthum durch Einlagerung neuer Theile in tangentialer Richtung die Einschiebung in radialer überwiege.

Hypothese über Moleculargonstitution.

Das Stärkemolecul besteht aus $C_{10} H_{10} O_{10}$. Dieses Substanzelement zieht das Substanzelement an, ebenso aber auch das Wasser. Der Substanzkern hat eine Wasserhülle. Nehmen wir an, die Anziehung von Molecul zu Molecul der Substanz sei A und abhängig von ihrer Masse, die Anziehung der Substanz zum Wasser sei B, dann haben wir $\frac{B}{Dp + q} = \frac{A}{Dp}$ als Gleichgewichtsgleichung. Hierin bedeute D die Entfernung zweier Substanzelemente; die Kraft, mit welcher zwei Substanzelemente sich anziehen, wird direct proportional sein der Masse *(B A)* und umgekehrt proportional der Entfernung D. Die Gleichung drückt dann aus, daß die Anziehung zwischen Substanz und Wasser höheren Potenzen der Entfernung umgekehrt proportional sei, als die Anziehung von Substanz zu Substanz. Bei der zweiten Annahme, die Kerne seien ungleich groß, muß ein Kern alsdann ein Complex mehrerer Molecule sein. Es folgt daraus, daß, wenn dieselben wachsen, die Wasserhüllen dünner werden und die Entfernungen zwischen den Schwerpunkten etwas wachsen. Die weichen wasserreichen haben kleine, die dichten wasserarmen haben größere Substanzkerne.

Hieraus folgert nun NÄGELI, daß in den dichteren Parthieen mit blos 14 % Wasser die Kerne nicht kugelig sein können (für kugelige Kerne bei dichter Berührung werden 26 % Wasser verlangt), sondern polyedrisch sein müssen.

In der dichten Substanz von 14 % Wasser beträgt die Entfernung zwischen den Kernen unter allen Umständen weniger als 1/20 des Durchmessers eines derselben, in der

ſo gut wie unbekannt. Von dem Stärkemehl unterſcheidet ſich die Zellmembran durch die Jodreaction nicht abſolut. Die jugendliche Zellmembran bläut ſich mit Jod, wenn eine Säure vorher angewandt wird, welche die Membran auflockert, zum Quellen bringt, z. B. Jodwaſſerſtoff, Schwefelſäure. Bei Behandlung mit engliſcher Schwefelſäure quillt die Membran, bei Zuſatz von Jod bläut ſie ſich. Reine ſäurefreie Jodlöſung erzielt die Bläuung nicht.

Die Celluloſe iſt nun aber ſicherlich ein Derivat des Stärkemehls oder einer Verbindung, welche, je nach Umſtänden, in Form von Stärke oder Celluloſe niedergeſchlagen wird. Wir müſſen uns vorſtellen, daß die feſten Gebilde, Gewebe und Niederſchlagskörper Gemiſche verſchiedener Verbindungen von hohem Moleculargewicht ſind. Die hauptſächlichen Gemiſche dieſer Art ſind dem entſprechend:

---

weichen von 70 % Waſſer weniger als 1/2 des Durchmeſſers und in der weichſten von 98 % ſicher nicht über das Dreifache des Durchmeſſers.

Wenn in Subſtanzen von 14 %, 70 %, 98 % Waſſer die Subſtanzkerne ähnlich geſtaltet und angeordnet ſind, ſo verhalten ſich die Durchmeſſer der Molecule

für 14 %	70 %	98 %
wie 30 :	10 :	1

und die Volume

für 14 % Waſſer	70 % Waſſer	98 % Waſſer
wie 9000 $(30)^3$:	100 $(10)^3$:	1 $(7)^3$.

Das Stärkemolecul iſt nämlich gleich groß. Der größte Kern enthält ſomit 9000 Molecule, während der kleinſte eines enthält.

Der Subſtanzkern iſt undurchdringlich und wächſt durch Auflagerung neuer Molecule.

Das Quellen in Säuren, Alkalien und heißem Waſſer iſt wahrſcheinlich Folge des Zerfalls des Kerns in Molecule.

Bedeutet M die Maſſe eines Subſtanzkerns, m die Maſſe eines Moleculs, ſo iſt $\frac{M\,m\,A}{D\,p}$ die Anziehung zwiſchen beiden. A iſt die Attraction der Maſſeneinheit (alſo eines Moleculs), D die Entfernung der Schwerpunkte. Da der Subſtanzkern und das Molecul gleich dicht ſind, ſo kann die Anziehung auch durch das Volum ausgedrückt werden, alſo $\frac{V\,v\,A}{D\,p}$. Bezeichnet B die Attraction des Stärkemoleculs zu demjenigen Maſſenelement Waſſer, welches gleiches Volum einnimmt, ſo iſt die Anziehung des Kerns und Moleculs zu den von ihnen verdrängten Waſſermaſſen $\frac{V\,v\,B}{D\,p + q}$, hieraus die Gleichung $\frac{Vv\,A}{Dp} = \frac{Vv\,B}{Dp + q}$. Dieſe Gleichung hat indeß blos ſymboliſche Bedeutung und iſt überdieß unrichtig. Denken wir uns zwei kugelige Kerne, jeden aus zwei Moleculen von Halbkugelgeſtalt ſo gelagert, daß die Molecule in einer Reihe liegen. Die Anziehung iſt dann $\frac{4\,A}{D\,p}$, wo D den Abſtand der beiden Mittelpunkte bezeichnet. [Aus der Gleichung (ſiehe oben) ergibt ſich $\frac{Vv\,A}{Vv\,B} = \frac{D\,p}{Dp + q}$ oder $\frac{A}{B} =$

Die Stärke: Gemenge von Granuloſe und Celluloſe. Beſchränkte Quellung in kaltem, unbegrenzte Quellung in heißem Waſſer. Mit Jod und ſchwacher Jodwaſſerſtofflöſung gebläut. Nach der Fermentation mit Speichel iſt die Granuloſe gelöſt, ein Skelett von Celluloſe bleibt zurück. Die Bläuung tritt nicht mehr ein.

Die Subſtanz der verholzten Gewebe: Gemenge verſchiedener Celluloſederivate.

Der Kork. Unlöslich in conc. Schwefelſäure. Nach dem Kochen mit Kalilauge tritt die Celluloſereaction ein.

Cuticularſchichten und Cuticula: Gemenge in conc. Schwefelſäure unlöslich mit Jod gebräunt (infiltrirt mit Wachs und Harz).

Maſſe des Flechtenascus: mit Jod direct gebläut, in Waſſer beſchränkt quellend.

Maſſe einiger Algengewebe: in kaltem Waſſer begrenzt, in heißem Waſſer zur Gallert quellend.

Frémy unterſcheidet dieſe Verbindungen:

$\frac{1}{Dq}$, d. h. die Entfernung der Schwerpunkte zweier Molecule iſt unabhängig von dem Volum derſelben und blos bedingt durch das Verhältniß der Anziehung von Stärke zu Stärke und von Stärke zu Waſſer.

In gleichem Maße, wie die Molecule wachſen, nimmt die Waſſerſchicht zwiſchen ihnen ab und verſchwindet zuletzt ganz. Wir könnten ſtatt D ſetzen $R + r + \delta$, wo R und r die Radien der Kerne vom Schwerpunkt zur Oberfläche, δ den Abſtand beider Oberflächen bedeutet, dann hat man $\frac{Vv\,A}{(R+r+\delta)p} = \frac{Vv\,B}{(R+r+\delta)}\,p + q$ und $\frac{A}{B} = \frac{1}{(R+r+\delta)q}$. Der Abſtand δ wird nur kleiner, wenn R und r größer werden. Er wird $= o$, wenn $R + r = D$. Dieſe Folgerung iſt indeß unmöglich, da die Anziehung von Stärke zu Waſſer mit der Abnahme der Entfernung in ſtärkerem Verhältniß wächſt, als die Anziehung von Stärke zu Stärke.]

Die Summe der Attraction der einzelnen Molecule (ſ. oben) iſt $\frac{A}{(D-d)p} + \frac{2\,A}{D\,p} + \frac{A}{(D+d)}\,p$, wenn D die Entfernung vom Schwerpunkt des Kerns bis zum Centrum eines der Molecule iſt und dieſe gegen D verſchwindend klein wird. Dieß iſt aber nicht der Fall, es muß alſo die Summe aller Attractionen aller einzelnen Molecule genommen werden. Sie iſt eine Reihe von der Form

$$\frac{A}{(D+d_0)}\,p + \frac{A}{(D+d_1)}\,p + \frac{A}{(D+d_2)}\,p + \frac{A}{(D+dn)}\,p.$$

Für die Anziehung der Subſtanzkerne ſind

$$\frac{B}{(D+d_0)}\,p + q + \frac{B}{(D+d_1)}\,p + q + \frac{B}{(D+d_2)}\,p + q + \frac{B}{(D+dn)}\,p + q$$

für die Anziehung von Subſtanz und Waſſer. $D + d_0$ iſt hier die Entfernung von dem Molecul des einen Kerns bis zu dem nächſten Molecul des anderen Atoms, es wird in der Regel $= D$ ſein. $D + d$, $D + d'_2$, $D + dn$ bezeichnen die Entfernung aller übrigen Molecule je des einen zu den Moleculen des anderen Kernes. Die Zahl der Glieder

Cellulofe: löslich in Kupferoxydammoniak, in concentrirter Schwefelfäure, in kochender Kalilauge.

Paracellulofe: unlöslich in Kupferoxydammoniak, löslich in Schwefelfäure und Kalilauge.

Fibrofe (Vasculofe): löslich in Schwefelfäure, unlöslich in Kalilauge und Kupferoxydammoniak.

Pectofe der Früchte: mit Kupferoxydammoniak bildet fich pectinfaures Kupferoxyd.

Cutine: in Schwefelfäure und Kupferoxydammoniak unlöslich, verfeift fich mit Alkalien.

Nägeli und Schwendener (f. das Mikrofkop, S. 471) unterfuchten die Pflanzengewebe in Hinficht ihrer Löslichkeit (beziehungsweife Quellung), ihres Verhaltens zu Jodlöfung und zur Löfung von Kupferoxydammoniak. Es möge anbei eine Zufammenftellung der Refultate folgen:

---

jeder Reihe ift gleich derjenigen der möglichen Combinationen zwifchen jedem Molecul des einen und derjenigen des anderen Kernes, alfo NN^1, wo NN die Anzahl der Molecule der Kerne darftellen. Die Gleichgewichtslage ift alfo durch diefe Gleichung ausgedrückt:

$$\frac{A}{(D+d_0)}p + \frac{A}{(D+d_1)}p + \dots \frac{A}{(D+dn)}p = \frac{B}{(D+d_0)}p + q + \frac{B}{(D+d_1)}p + q + \dots \frac{B}{(D+dn)}p + q.$$

Diefe Gleichung ift nur richtig, wenn die Anziehungen alle parallel wirken oder wenn die Abweichungen von der parallelen Richtung als verfchwindend klein angefehen werden dürfen. Dieß ift aber nicht der Fall, daher ift eine Correctur für jedes Glied nöthig. Zwei Kerne mit je zwei Moleculen haben den Abftand $D + dm$, die Attraction zwifchen beiden ift $\frac{A}{(D+dm)}p$, hiervon wirkt aber, infofern es fich um die Anziehung der Kerne handelt, die Componente, welche parallel ift mit der Verbindungslinie beider Schwerpunkte. Conftruiren wir, um diefe zu finden, ein rechtwinkeliges Dreieck, wo die Hypothenufe $= (D + dm)$, fo ift

$$x^2 + em^2 = (D + dm)^2$$
$$x + \sqrt{(D + dm)^2 - em^2};$$

nun verhält fich die Anziehung zwifchen den zwei Moleculen MM^1 zu der wirkfamen Componente y, wie die Hypothenufe zu den Catheten, alfo $\frac{A}{(D+dm)}p : y = D + dm : \sqrt{(D+dm)^2 - em^2}$ und hieraus $y = \frac{A}{(D+dm)}p \frac{\sqrt{(D+dm)^2 - em^2}}{D+dm}$; auf gleiche Weife verändern fich alle Glieder der erften und zweiten Reihe. em bezeichnet den Abftand eines Moleculs des einen Kerns von einem Molecul des anderen Kerns. Ift derfelbe o, fo wird $\frac{\sqrt{(D+dm)^2 - em^2}}{D+dm} = 1$. Wir fetzen diefen Werth ein und erhalten fomit die Gleichung

Löslichkeit.

1° In kaltem Waſſer aufquellend, in kochendem gelöst:
Pflanzenſchleim: Salep.
Cacteen.
Cydonia.
Linum.
Salvia.

2° Löslich in SO_4H und in Cuoxam:
Baumwolle.
Baſtfaſer der Bäume.
Periſperm von Phytelephas.

3° Löslich in conc. SO_4H, unlöslich in Cuoxam, wird aber löslich durch vorherige Behandlung mit ClH oder SO_4H und Alkalien:
Mark.
Markſtrahlen d. Hölzer.

4° Löslich in SO_4H, unlöslich in Cuoxam, wird in letzterem löslich durch vorhergehende Behandlung mit chlorſaurem Kali und Salpeterſäure (SCHULTZE'ſche Löſung).

Holzzellen von: Pinus,
Quercus.
Taxus.
Steinzellen der Birne,
ebenſo im Mark v. Hoya.

Bläuung mit Jod.

1° durch Jod und Waſſer allein:
Flechtenascus.

2° durch Jod und Waſſer allein, nicht erſt durch Einwirkung eines die Quellung bewirkenden Mittels, wie JH, ClH, SO_4H.

a) Bläuung tritt ein nach längerem Liegen in der Jodlöſung, welche JH bildet und ſauer reagirt:
Samenlappen:
Hymenæa Curbaril.
Mucuna ureus.
Endoſperm:
Gladiolus.
Iris.
Cyclamen.

b) Bläuung tritt ein nach mehrmalig. Eintrocknen des Präparates in Jodlöſung:
Dünnwandiges Rindenparenchym der meiſten Pflanzen.

c) Bläuung tritt ein bei gleichzeitiger Behandlung mit J + SO_4H conc.
Aeltere Parenchymzellen.
Innerer Theil der verdickten Holzzelle: Pinus,
Abies,
Hanffaſer.

3° Bläuung tritt ein nach Behandlung mit NO_6H, Auswaſchen, mit Jod und

Verhalten gegen Kupferoxydammoniak.

1° Weder Färbung noch Quellung.
Oscillatoria viridis.
Flechten.
Kork.
Zellſtoffkeulen der Ficuscyſtolithen.

2° Färbung ohne Quellung:
Caulerpa.
Fucus.
Holzzellen von: Quercus,
Taxus,
Pinus.

3° Zuerſt Bläuung, dann Quellung:
Die meiſten Algen.
Holzzellen von Acer vitis.
Alle Parenchym- und Epidermis-Zellen.

4° Zuerſt Quellung, dann Löſung:
Baumwolle,
Baſtfaſern,
Phytelephas Periſperm.

II $\frac{Af_0}{(D+d_0)}p + \frac{Af_1}{(D+d_1)}p + \dots \frac{Af_n}{(D+dn)}p = \frac{Bf_0}{(D+d_0)}p+q + \frac{Bf_1}{(D+d_1)}p+q + \dots \frac{Bfn}{(D+dn)}p+q$. In dieſer allgemeinen Gleichung ſtellen A und B unverwandelbare Werthe dar, während f, D und d von der Zahl und Stellung der Atome in den Moleculen bedingt werden. Beſteht der Kern aus einem Molecul, ſo hat man

$$\frac{Af_0}{(D+d_0)^p} = \frac{Bf_0}{(D+d_0)^{p+q}} \text{ oder } \frac{A}{D^p} = \frac{B}{D^{p+q}}.$$

Denken wir uns zwei Kerne, jeden mit zwei Moleculen, ſo iſt die Bedingung für die Gleichung:

Löslichkeit.	**Bläuung mit Jod.**	**Verhalten gegen Kupferoxydammoniak.**
Baſtzellen der Rinde. » » Chinarinde. Spiralfaſer der Mamillaria. Pilz- u. Flechten-Hyphen.	SO_4H. Alle Zellen im Inneren der Pflanze, welche ſich durch J und SO_4H allein nicht bläuen: die ſogen. primäre Membran und Intercellularſubſtanz der Holzzelle und Gefäße; die braunen Gefäßbündelſcheiden der Farrenkräuter. 4⁰ Die J- und SO_4H-Bläuung tritt erſt ein nach vorherigem Kochen in Kali und: Kork, Cuticula, Periderma.	Zellgewebe der Früchte und Wurzeln.

§ 17. Molecularstructur der Membran und der festen Niederschläge[1]).

Alle pflanzlichen, ja alle organiſchen Häute und feſten, nicht kryſtalliniſchen Niederſchläge kommen darin überein, daß ſie nicht homogen elaſtiſch und dicht ſind.

Die Folge davon iſt, daß ſie die Molecularbewegungen, welche von außen durch ein Syſtem von Zellen hindurchgehen, Wärme, Electricität, auch den Schall, nicht nach allen Richtungen gleichſchnell fortleiten. Aus der Leitungsgeſchwindigkeit, welche experimentell für ſolche Gewebe beſtimmt wurde, kann man indeß nicht direct auf die Widerſtände in den einzelnen Zellen ſchließen, da in dem Gewebe in verſchiedener Richtung eine Verſchiedenheit in der anatomiſchen Structur herrſcht, welche an ſich ſchon eine ungleiche Anzahl von Membranen für gleiche Länge der Bahn in verſchiedenen Richtungen mit ſich bringt.

[1]) H. von Mohl, Die Unterſuchung des Pflanzengewebes mit Hilfe des polariſirten Lichtes. Botan. Ztg. 58. S. 9. (373.) 93. Einige nachträgliche Bemerkungen zu dem Aufſatze: Die Unterſuchung des Pflanzengewebes mit Hilfe des polariſirten Lichtes. 373. Botan. Ztg. 58. H. von Mohl.

$$\frac{Af_0}{(D+d_0)^p} + \frac{Af_1}{(D+d_1)^p} + \frac{Af_2}{(D+d_2)^p} + \frac{Af_3}{(D+d_3)^p} = \frac{Bf_0}{(D+d)^{p+q}} + \frac{Bf_1}{(D+d_1)^{p+q}} + \frac{Bf_2}{(D+d_2)^{p+q}} + \frac{Bf_3}{(D+d_3)^{p+q}};$$

A. Geschwindigkeit der Leitung des Schalles im Holze.

	Längsrichtung parallel der Fafer.	Querrichtung fenkrecht zu Fafer und Jahrring.	fenkrecht zur Fafer, parallel den Jahrringen.
Eiche	12,622	5,0366	4,229
Kiefer	15,218	4,382	2,572
Tanne	10,900	4,611	2,605
Afpe	16,677	5,297	2,987

Wärmeleitung im Holz [1]).

Die Zahlen find gleich der Ablenkung der Magnetnadel im Galvanometer bei gleicher Lage des Holzftückes, welches zwifchen der Wärmequelle und der Thermofäule eingefchaltet ift.

	Parallel der Fafer.	Senkrecht zur Fafer, parallel den Jahrringen.	Senkrecht zu Fafer und Jahrringen.
Eiche . . .	34	9,5	11
Buxbaum .	31	9,9	12
Nußbaum .	28	11	12
Sandelholz .	28	10,9	11
Ulme . . .	24	10,0	11,0

B. Verhalten im polarisirten Lichte [2]).

Die Doppelbrechung und Polarifation des Lichtes in organifchen Membranen und nicht kryftallifchen organifchen Niederfchlägen gewähren einen Einblick in die Molecularftructur der Einzelzelle, der Membran-

[1]) TYNDALL, Wärme, überf. von HELMHOLTZ. S. 280 ff. Braunfchweig. Vieweg und Sohn. 1867.

[2]) H. v. MOHL, Bot. Ztg. a. a. O., f. oben S. 121. — VALENTIN, Unterfuchungen der Gewebe im polarifirten Licht. Leipzig. Engelmann. 1861. — C. NÄGELI u. S. SCHWENDENER, Das Mikrofkop, Theorie und Anwendung. 1867. Leipzig. W. Engelmann. — C. NÄGELI, Beiträge zur wiffenfchaftl. Botanik. 4 Hefte. 1858—68. Leipzig. W. Engelmann. N. J. C. MÜLLER, Bot. Unterf. I. Bd. S. 132 ff., ebend. S. 206 ff.

fallen die vier Molecule in eine Linie, fo ift die Gleichung

$$\frac{A}{Dp} + \frac{2A}{(D+\delta)^p} + \frac{A}{(D+2\delta)^p} = \frac{B}{D^{p+q}} + \frac{2B}{(D+\delta)^{p+q}} + \frac{B}{(D+2\delta)^{p+q}}.$$

δ drückt die Entfernung der Molecule in dem einen und dem anderen Kern aus.

Es folgt aus diefer Abhandlung, daß mit dem Heranwachfen der Subftanzkerne die Anziehung für Waffer finkt. Große Kerne, welche aus zahlreichen Stärkemoleculen zufammengefetzt find, werden eine dünne Wafferhülle befitzen, wie kleine Subftanzkerne.

lamelle und des Niederſchlagsindividuum, welchen die Meſſungen unter A nicht zuließen, weil die experimentellen Schwierigkeiten, in der Kleinheit der Zellen begründet, nicht überwunden werden können.

Zu dieſen Studien iſt ein praktiſcher Curſus unerläßlich. Der Intereſſent wird, ausgerüſtet mit einem guten Polariſationsmikroſkop (ſ. Nägeli und Schwendener, Das Mikroſkop), beſchaffen müſſen: dünne Glimmer, Gyps, Kalkſpathplättchen, einen dünnen Gypskeil und eine größere Anzahl von natürlichen Membranpräparaten: Durchſchnitte durch die Hölzer, Epidermis der Aloë, Haare, Faſern, Stärkemehl, Inulinſphäroïde der Dahliaknolle, Schraubenbänder der Gefäße und Tracheïden. Künſtliche Membranen mögen hergeſtellt werden, indem man Stärkekleiſter (*S*), ebenſo Traganth-(*T*)ſchleim, Collodium (*C*) auf Glasplatten erhärten läßt. Man ſtelle ferner her: Membranlamellen, welche auf Objectträgern erhärtet und durch wechſelnde Schichtung entſtanden ſind, aus *S*, *T*, *S*, *T* u. ſ. f., aus *S*, *C*, *S* . . . ., aus *T*, *C*, *T* . . . . Endlich tauche man kleine Wachskügelchen, welche an einer Nadel aufgeſpießt ſind, abwechſelnd in *S*, *C*, *C*, *T* u. ſ. f., und ebenſo ſtelle man Röhren aus dieſen künſtlichen Membranogenen her, indem man ganz dünne Grashalme in die Flüſſigkeiten *S*, *T*, *C* taucht und um das Modell trocknen läßt, bis eine merklich dicke cylindriſche Membran entſtanden iſt.

1. Versuche mit dem Doppelspath.

Bei gewiſſen kryſtalliniſchen Körpern ändert ſich die Lichterſcheinung eines durchgehenden Strahles je nach der Lage des Körpers zum einfallenden Strahl.

Der Kalkſpath z. B. kryſtalliſirt im hexagonalen Syſtem, er iſt ein Rhomboëder, und die optiſche Axe iſt die Hauptaxe des Kryſtalls, ſie verbindet zwei gegenüberliegende ſtumpfe Ecken. Alle Ebenen durch die kurzen Diagonalen zweier gegenüberſtehenden Rhomben ſind Hauptſchnitte. Läßt man einen Lichtſtrahl parallel der optiſchen Axe durch den Kryſtall gehen, ſo erleidet derſelbe keine Veränderung. In dieſer Richtung verhält ſich der Kryſtall wie ein iſotroper Körper. Der Lichtſtrahl aber wird in zwei Strahlen zerlegt, wenn er auf eine Rhombenfläche ſenkrecht auffällt. Die Ebene, welche durch beide Strahlen gelegt werden kann, liegt im Hauptſchnitt. Man nennt denjenigen der beiden Strahlen den ordentlichen, der ſo durch den Kryſtall geht, wie wenn dieſer ein iſotroper Glasrhomboëder wäre; der andere, der ſogenannte extraordinäre, iſt gegen ſeine urſprüngliche Richtung im Hauptſchnitt verſchoben.

Sei \/ eine Figur auf weißem Papier. Wird auf dieſes der Kryſtall mit einer ſeiner Rhombenflächen gelegt, ſo ſehen wir \/ \/, das eine derſelben dreht ſich und macht alle Lagen durch um das andere herum, wenn wir den Kryſtall drehen.

Bezeichnen wir den ordinären Strahl mit $\vee$, den extraordinären mit $\vee'$, ſo hat letzterer je nach der Stellung des Hauptſchnittes bei einer Drehung des Kryſtalls um den einfallenden Strahl als Axe folgende Lagen: Fig. 128.

Der Hauptſchnitt iſt bei dieſer Drehung des Kryſtalls (von rechts nach links) leicht zu erkennen. Er geht von der Ecke α nach der entſprechenden, welche unter β liegt.

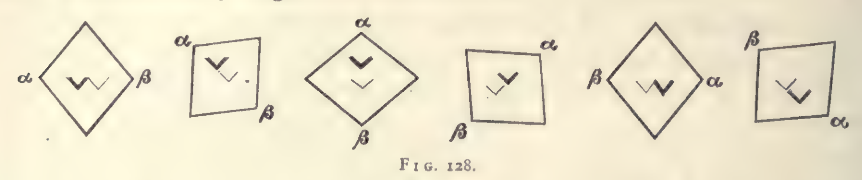


Fig. 128.

Legt man einen zweiten Kryſtall ſo, daß er mit ſeinem Hauptſchnitt dem des erſten parallel iſt, ſo beobachtet man bei der Drehung derſelben um den Strahl als Axe folgende Erſcheinungen:

Wir ſehen, wenn die Kryſtalle parallel liegen, Fig. 129 A, 1, daß dann keiner der beiden aus dem erſten in den zweiten eintretenden Strahlen durch den zweiten Kryſtall zerlegt wird. Verſchieben wir den Haupt-

Fig. 129 A. Zur Analyſe der hier einſchlägigen Phänomene kann man zunächſt die Rotation eines Kalkſpathes um einen Strahl als Axe, ſodann aber auch die Rotation eines ſolchen Kryſtalles α' β' um einen gleich dicken α β, welcher bezogen auf den Strahl $\vee$ feſtliegt, anwenden. Bei dieſer Drehung nach $\overline{12}$ (45°) findet eine Uebertragung beider in dem feſtliegenden gebrochenen Strahle in den zweiten Kryſtall ſtatt. Bei einer Drehung $\overline{13}$ um 90° wird nur der extraordinäre in α' β' durchgelaſſen. Bei einer Drehung um 180° (1 nach 5) wird hingegen nur der ordinäre Strahl durchgelaſſen. Man nennt den gewöhnlichen Strahl im Hauptſchnitt α β, den außergewöhnlichen ſenkrecht zum Hauptſchnitt polariſirt. Das Schema zeigt dann die Brechung und den Durchgang von $\vee$ und $\vee$, und da ſich $\vee$ $\vee$ leicht, bezogen auf den Ort *c*, orientiren laſſen, die Lage der Brechungsebenen für $\vee$ und $\vee$.

ſchnitt des zweiten Kryſtalls um 45°, ſo werden die beiden einfallenden zerlegt, Fig. 2. Schließen die Hauptſchnitte Winkel von 90° ein, Fig. 3, ſo geht nur der extraordinäre durch den zweiten Kryſtall. Daraus geht im Vergleich mit Fig. 5 hervor, daß die Schwingungen des extraordinären Strahls ſenkrecht zum Hauptſchnitt ſtehen. Bei 135° gehen beide, bei der Stellung von 180°, Fig. 5, geht nur der ordinäre Strahl hindurch. Bis auf die Richtung der Verſchiebung entſprechen ſich dann weiter:

Figur 6 und Figur 2,
» 7 » » 3,
» 8 » » 4 in dem Holzſchnitte Figur 129 A.

Das Licht erfährt in dem erſten Kryſtall eine Veränderung, welche darin beſteht, daß es ſich nicht mehr allſeitig um ſeine Fortpflanzungsrichtung gleich verhält. Der zweite Kryſtall iſt in ſeinen kleinſten Theilchen ſo beſchaffen, daß er die neue Eigenſchaft des aus dem erſten kommenden Lichtes verräth.

Wir ſchließen aus den Erſcheinungen, daß das Licht im erſten Kryſtall den zweiten nur in einer Lage unverändert durchſetzt, Fig. 129 A *1*. Hier wirkt aber der zweite Kryſtall nur wie eine Verdickung des erſten.

In zwei anderen Lagen, Fig. 2, 6 und 4, 8, gehen beide Strahlen, der ordentliche und der außerordentliche, in den zweiten Kryſtall und werden in dieſem nochmals zerlegt.

Als ordentlicher Strahl geht das Licht nur in einer Lage durch den zweiten Kryſtall, nämlich wenn die Ebene, welche wir durch V V legen, parallel ſteht zu der Ebene des Hauptſchnittes im zweiten Kryſtall.

Der Hauptſchnitt iſt die Polariſationsebene des ordentlichen Strahles.

In zwei Lagen, Fig. 3 und 7, ſtehen die Hauptſchnitte ſenkrecht und nur der extraordinäre des unteren Kryſtalls geht durch den oberen. Wir ſagen daher: der extraordinäre iſt in einer Ebene polariſirt, welche ſenkrecht zum Hauptſchnitt ſteht. Steht der Hauptſchnitt des zweiten Kryſtalls zu demjenigen des erſten ſenkrecht, ſo geht der ordentliche Strahl im erſten nicht, der außerordentliche im erſten aber als ordentlicher durch den zweiten Kryſtall, d. h. er wird zerlegt wie der urſprüngliche Strahl im erſten Kryſtall.

Bei der Annahme, das Licht beſtehe in Transverſalſchwingungen, müſſen dann die Schwingungsebenen der beiden Strahlen im erſten Kryſtall ſenkrecht zu einander ſtehen. Young und Fresnel nehmen an, die Schwingungsebene falle mit der Polariſationsebene nicht zuſammen, dann gehen die Transverſalſchwingungen des extraordinären Strahls in dem Hauptſchnitt, die des ordinären in einer dazu ſenkrechten Richtung vor ſich.

Polariſationsapparat.

Um nun einen polariſirten Strahl in's Geſichtsfeld eines optiſchen Inſtrumentes zu laſſen, wird ein Kalkſpathrhomboëder ſo geſchliffen, daß die Flächen *a b c d* und *a' b' c' d'* ſenkrecht zu *b b' d d'* ſtehen, aber ∢ von 68° mit den Kanten *c c'* und *a a'* einſchließen. Hierauf wird das ſo erhaltene Prisma durch eine Ebene in zwei Stücke geſägt, welche ſenkrecht auf den Schliffflächen *a b c d* und *a' b' c' d'* und ſenkrecht auf dem Hauptſchnitt *b d d' b'* ſteht. Parallel der letzten Schnittfläche werden die beiden Stücke mit Canadabalſam zuſammengeklebt. Der ordentliche Strahl erleidet bei der Canadabalſamfläche eine totale Reflexion und wird an der geſchwärzten Wand der Faſſung verſchluckt. Mit zwei ſolcher Prismen [NICOL'ſche Prismen][1]) ſtattet man ein Mikroſkop aus und behandelt die Phänomene, welche bei gekreuzter Stellung beider Polariſationsebenen beobachtet werden. Iſotrope Körper ſind dann im Geſichtsfeld dunkel, aniſotrope hell[2]).

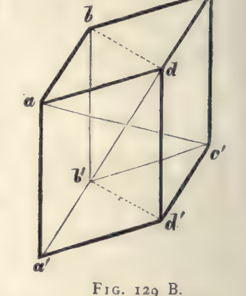


Fig. 129 B.

2. Isotropie und Anisotropie[3]).

Der Gegenſtand, welcher jetzt zu behandeln iſt, verdient deßwegen ein großes Intereſſe, weil er optiſche Eigenſchaften behandelt, die allen organiſchen feſten Häuten zukommen, den thieriſchen ſowohl, wie den pflanzlichen.

Es mögen hier nun, ehe zur Theorie der Phä-

[1]) NICOL, Lehrer der Phyſik in Edinburgh. (1768—1851.)

[2]) Die Literatur, welche in den nachfolgenden Abhandlungen benutzt iſt, findet ſich in A. BEER, Einleitung in die höhere Optik. Braunſchweig bei Vieweg. 1852. — WÜLLNER, Lehrbuch der Experimentalphyſik. Bd. I. Leipzig. Teubner. 1853. — MÜLLER (-POUILLET), Lehrbuch der Phyſik. Bd. I. Braunſchweig. Vieweg. 1862. — NÄGELI, Beiträge zur wiſſenſchaftlichen Botanik. Leipzig. Engelmann. 1858. 3. Heft. — NÄGELI und SCHWENDENER, Das Mikroſkop. S. 292 ff. Leipzig. Engelmann. 1867.

[3]) **Huighens' Princip und Snell'sches Gesetz.**

Die theoretiſche Phyſik lehrt die Lichterſcheinung als die Bewegung eines unendlich

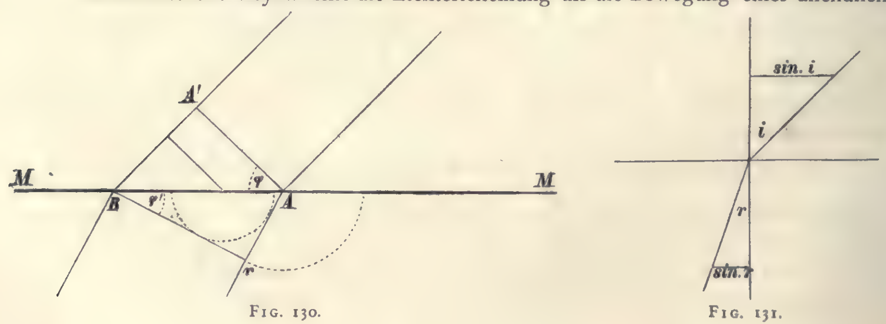


Fig. 130.

Fig. 131.

nomene geſchritten wird, zunächſt die Beobachtungen abgehandelt werden, welche zum Verſtändniß der Theorie unerläßlich ſind. Iſotrope Körper, d. h. ſolche, in welchen das Licht ſich nach allen Richtungen mit gleicher Geſchwindigkeit fortpflanzt, ſind: das gleichmäßig abgekühlte und erſtarrte Glas, alle Flüſſigkeiten, alle Kryſtalle des regulären Syſtems.

Aniſotrope Körper ſind alle Kryſtalle der übrigen Kryſtallſyſteme, alle organiſchen Membranen, Zellgewebe, alle ſphäriſchen feſten Niederſchläge in der Pflanzenzelle, Aleuron, Amylum, die Inulinſphäroïde u. a. m., endlich alle künſtlichen Membranen, welche unter dem Einfluſſe der Adhäſion oder unter Zug-, beziehentlich Druckkräften aus einem flüſſigen Colloïd erſtarren. Solche Membranen können hergeſtellt werden aus Collodium, Traganthſchleim, Gummi arabicum, aus Leim und Stärkekleiſter, aus Kirſchgummi, Salepleim u. a. m.

Alle dieſe Körper reagiren im Polariſkop. Die optiſchen Phänomene ſind aber ſo mannigfach, daß eine Analyſe derſelben am beſten von den einfachſten Erſcheinungen am dünnen Kryſtallplättchen ihren Ausgang nimmt. Beſchränken wir hierbei die Zahl der Beobachtungen auf das geringſte Maaß.

---

feinen Körpers, des Aethers. Die Richtung, in welcher eine kugelige Welle in dieſem Körper fortſchreitet, iſt der Strahl. Senkrecht zu dieſer ſtellen wir uns undulatoriſche Bewegungen der kleinſten Aethertheilchen vor.

Bei der Brechung des Lichts, von welcher Erſcheinung aus die Doppelbrechung verſtanden wird, haben wir die Beziehung zwiſchen Ablenkung und Lichtgeſchwindigkeit feſtzuſtellen. Sei $A\,A'$, Fig. 130, ein Theil einer kugeligen Welle (mit der Geſchwindigkeit v), die auf das Medium $M\,M$ auftrifft. In A wird zuerſt eine Welle im Medium $M\,M$ erregt, die ſich mit der beſtimmten Geſchwindigkeit v' durch dasſelbe fortpflanzt.

Da die Strecken, durch welche ſich die Lichtbewegung fortſetzt, ſich wie die Geſchwindigkeit verhalten, ſo wird ſich der Weg im einen Mittel ($A'\,B$) zum Weg im anderen Mittel in derſelben Zeit verhalten, wie $v : v'$, und es iſt:

$$Ar = A'\,B\,\frac{v}{v'}.$$

$A\,B$ aber iſt der Sinus des Winkels φ, Ar der Sinus von φ', mithin

$$\sin\varphi' = \sin\varphi\,\frac{v}{v'};$$

hieraus ergiebt ſich:

$$\frac{\sin\varphi}{\sin\varphi'} = \frac{v}{v'}.$$

Da nun für die gegebenen Medien die Geſchwindigkeiten v und v' conſtante ſind, ſo muß das Verhältniß der beiden Sinus auch conſtant ſein, unter welchem Winkel auch die ankommende Welle das Medium trifft.

Iſt nun beim Uebergang aus dem einen Mittel in's andere die Quadratwurzel aus der Elaſticität durch die Dichte $\sqrt{\frac{e}{d}}$ für letzteres kleiner, wie für's erſte, ſo nähert ſich der gebrochene Strahl dem Einfallsloth, Fig. 131; iſt dagegen $\sqrt{\frac{e}{d}}$ größer, ſo entfernt er ſich.

3. Verhalten dünner Gypsplättchen.

Erſter Verſuch.

Wenn die Polariſationsebenen, beziehentlich Schwingungsebenen der beiden Nicols ſich unter rechtem Winkel kreuzen, das Geſichtsfeld des Mikroſkops dunkel erſcheint, legen wir ein dünnes Gypsplättchen, Fig. 132, welches wir aus dem Marienglas abſpalten, in das Geſichtsfeld und drehen dasſelbe um die optiſche Axe des Inſtrumentes. Das Plättchen erſcheint dann in ſeiner Interferenzfarbe viermal hell und viermal dunkel. Dieſes Phänomen wird ohne Weiteres verſtändlich aus dem Verhalten der beiden Nicols ſelbſt. In dem unteren Nicol gehen alle Schwingungen nur nach einer, in dem oberen gehen dieſelben alle nach der dazu ſenkrechten Richtung. In dem Plättchen entſtehen ebenfalls zwei zu einander ſenkrecht ſchwingende Strahlen. Daher muß dasſelbe bei ſeiner Drehung in dem Inſtrument viermal in die Lage gerathen, wo es lediglich wie eine Verdickung der Kryſtallmaſſe der beiden Nicols wirkt, *Ap*, Fig. 135. Dieſe Stellung nennen die Polariſationsmikroſkopiker die orthogonale.

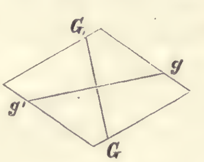


Fig. 132. Gypsplättchen aus dem Marienglas geſpalten. *G* Axe der größten, *g* Axe der kleinſten Elaſticität.

Fig. 133.

Aus der Behandlung der Wellenbewegung in feſten, elaſtiſchen Körpern ergibt ſich (ſ. Elaſticitätslehre) $c = C\sqrt{\frac{e}{d}}$, d. h. die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Lichtbewegung iſt der Quadratwurzel aus der Elaſticität direct, derjenigen aus der Dichte umgekehrt proportional.

In dem Glas iſt, wenn dasſelbe allſeitig gleichartig erſtarrt, die Begrenzungsfläche einer von einem im Glas befindlichen leuchtenden Punkt ausgehenden Welle eine Kugel.

Bei iſotropen Mitteln iſt die Brechung eines einfachen Strahls, wie oben gezeigt, immer dem Geſetz unterworfen, daß

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \varphi'} = Const.,$$

wie man das Licht auch auffallen laſſen mag.

Anders bei den Kryſtallen, z. B. Kalkſpath, hier iſt nun in einer Richtung (der Axe) $\frac{\sin \varphi}{\sin \varphi'} = Const.$, in allen anderen veränderlich.

Berechnet man bei verſchiedenen Kryſtallen für alle Einfallswinkel das Verhältniß $\frac{\sin \varphi}{\sin \varphi'}$ und hieraus die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit, ſo findet man in verſchiedenen Kryſtallen die Wellenfläche für den extraordinären Strahl als ein zweiaxiges oder als ein

Jedesmal, wenn das Plättchen bei seiner Drehung von einer orthogonalen Stellung nach der nächsten übergeht, leuchtet es in seiner Interferenzfarbe. Die größte Lichtintensität erhält es, wenn es den halben Weg von einer orthogonalen Lage zur zweiten erreicht hat, wenn seine Polarisations-, beziehentlich Schwingungsebenen Winkel von 45° mit denjenigen der Nicols einschließen. Diese Stellung wird die diagonale genannt. Fig. 133, *a d b c*.

Beachten wir nun, daß das Plättchen bei seiner Bewegung einen Ring beschreibt, welcher überall gleich dick mit der Krystallmasse ausgefüllt ist, so muß dieser Ring das Phänomen des Polarisationskreuzes zeigen. Er besitzt vier helle Quadranten, welche durch vier dunkle Radien von einander getrennt sind. Denken wir uns diese Scheibe bei sonst unveränderter Lage aller Theile des Instrumentes in ihrer eigenen Fläche rotiren,

---

dreiaxiges Ellipsoïd, die des ordentlichen Strahls ist eine Kugel. Das Ellipsoïd ist nun zur optischen Axe zu orientiren.

Wellenbewegung.

Wir haben die Aufgabe, eine Gleichung für die Bewegung eines Punktes zu finden, welche uns den Ort und die Bewegungsgröße des Punktes ergibt.

Dabei wird vorausgesetzt, daß die Kraft im Punkt proportional seiner Entfernung von der Gleichgewichtslage sei. Ist diese Kraft im Abstand y von der Gleichgewichtslage ψ und p eine Constante, so ist

$$\psi = -p\,y.$$

Das negative Zeichen deßhalb, weil der Punkt sich der Richtung entgegen zu bewegen strebt, in welcher er aus der Gleichgewichtslage entfernt wurde.

Ist K die Beschleunigung durch ψ, m die Masse des Punktes, so ist

$$K = \frac{p}{m},$$

und ist φ die Beschleunigung im Abstande y, so ist

$$\varphi = -K\,y.$$

Daraus geht hervor, daß die Amplitude ohne Einfluß ist auf die Dauer einer Oscillation, denn mit dem Abstand wächst die Geschwindigkeit.

Bedeuten α Amplitude, T Schwingungsdauer, t Zeit für die Bewegung aus der Gleichgewichtslage nach dem Orte y, so ist nach der analytischen Mechanik

$$y = \alpha \sin 2\pi \frac{t}{T},$$

und wenn wir die Geschwindigkeit für den Punkt suchen, müssen wir y differenziren

$$\frac{dy}{dt} = v \left(\text{s. Mechanik} \quad \frac{\triangle y}{\triangle t} = v \right)$$

$$v = \alpha \frac{2\pi}{T} \cos 2\pi \frac{t}{T} = \beta \cos 2\pi \frac{t}{T}.$$

Die Beschleunigung ist $\frac{dv}{dt} = \varphi = -\alpha \frac{4\pi^2}{T^2} \sin 2\pi \frac{t}{T}$, worin

$$K = \frac{4\pi^2}{T^2},\ \varphi = -\frac{4\pi^2}{T^2}\,y \text{ ist.}$$

ſo ändert ſich die Lichterſcheinung in keiner Weiſe. Die Lage der hellen Quadranten und des dunkeln Radienkreuzes bleibt dieſelbe. Genau ſo würde ſich ein Ring verhalten, den wir beſchreiben mit demſelben Gypsplättchen, indem wir eine oder die andere ſeiner Diagonalen als eine feſte Axe, als Leitſtrahl benutzen, welcher das Plättchen um den Mittelpunkt eines Kreiſes führt, in welchem der Leitſtrahl drehbar gedacht wird.

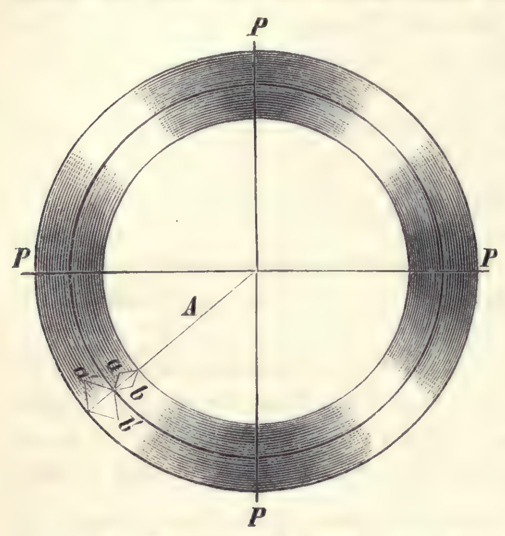


Fig. 134. Das Polariſationskreuz, aus zwei rotirenden Gypskryſtallen conſtruirt, welche Weiß oder Bläulichweiß der erſten Ordnung zeigen.

Zweiter Verſuch.

Wir können den Leitſtrahl einmal in die Diagonale der ſtumpfen Winkel an unſerem Gypsplättchen legen, den vorbeſchriebenen Ring herſtellen, ſodann aber einen zweiten Ring beſchreiben, indem wir den Leitſtrahl in die Diagonale der ſpitzen Winkel legen, Fig. 134. Bei der bis jetzt herrſchenden Anordnung des Inſtrumentes werden beide Ringe genau die-

---

Der Punkt iſt nach $y = \alpha \sin 2\pi \frac{t}{T}$ in der Gleichgewichtslage, wenn $y = o$, $t = \frac{1}{2} T$, $t = 1 T$, $t = \frac{3}{2} T$, $t = \frac{5}{4} T$. Iſt $y = \alpha$, ſo iſt $t = \frac{1}{4} T$, $\frac{5}{4} T$, $\frac{9}{4} T$. Der Punkt iſt im Wellenberg nach der einen Seite. $y = -\alpha$, $t = \frac{3}{4} T$, $\frac{7}{4} T$, $\frac{11}{4} T$. Der Punkt iſt im Wellenberge nach der anderen Seite (Fig. 135).

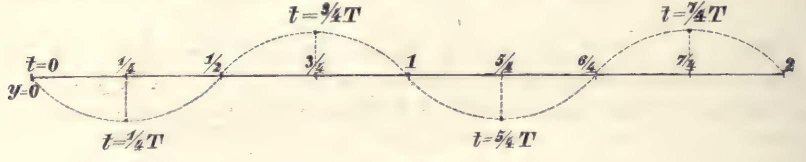


Fig. 135.

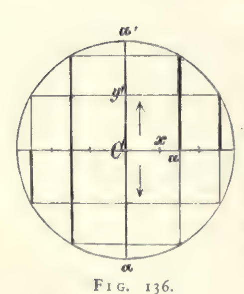


Fig. 136.

Die Oscillationsdauer T iſt aus einer der Gleichungen

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{K}} = 2\pi \sqrt{\frac{1}{K}} = 2\pi \sqrt{\left(\frac{1}{\frac{\rho}{m}}\right)}$$

für das Medium m eine conſtante.

Der Aetherpunkt oscillirt zwiſchen $\alpha\ \alpha'$ (C, Fig. 136, iſt ſeine Gleichgewichtslage), nach $\frac{1}{12}\ T$ der Oscillationsdauer iſt er in y'. Der Kreisumfang iſt in 12 Theile getheilt und bedeutet die Dauer der Oscillation T.

Die Cosinus der ∢ ſind dann die Geſchwindigkeiten nach

ſelbe optiſche Reaction zeigen, wiewohl doch ihre moleculare Structur weſentlich verſchieden iſt. Um den Unterſchied in der molecularen Anordnung zu ſtudiren, beachten wir zunächſt das Folgende:

Die Interferenzfarben an der Schneide eines Gypskeiles ſind in diagonaler Stellung derſelben für die erſte Ordnung Eiſengrau, Graublau, Weiß, Gelb, Roth und für die zweite Blau, Grün, Gelb, Roth.

Mit Leichtigkeit kann man nun ein ſolches Gypsplättchen von der Dicke *a b*, Fig. 140, ſpalten, welches die Interferenzfarbe Roth I in diagonaler Stellung zeigt. Ein ſolches Plättchen legen wir auf den unteren Nicol einmal für allemal feſt. Wir ſpalten nun ein zweites Plättchen, welches, zu dem erſten addirt, die Interferenzfarbe Blau IIter Ordnung, vom erſten Plättchen ſubtrahirt, Gelb Iter Ordnung ergibt.

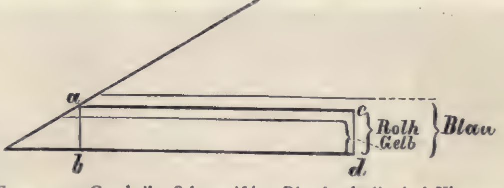


Fig. 137. Gypskeil. Schematiſch. Die durch die drei Klammern bezeichneten Dicken ergeben Gelb, Roth I, Blau II.

Dieſes Additionsplättchen zeigt aber für ſich allein im Polariſkop und in diagonaler Stellung etwa Bläulichweiß der erſten Ordnung. Führen

---

$v = \beta \cos 2\pi \frac{t}{T}$ und die Sinus ſind die Orte, in denen ſich der Punkt befindet.

Nach $y' = \alpha \sin 2\pi \frac{t}{T}$ ergibt ſich alsdann aus den trigonometriſchen Functionen:

$v = o \quad y = \alpha$ für $\frac{t}{T} = 1/4$,

$v = \beta \quad y = o$ » $\frac{t}{T} = 1/2$,

$v = o \quad y = -\alpha$ » $\frac{t}{T} = 3/2$,

$v = \beta \quad y = o$ » $\frac{t}{T} = 2$.

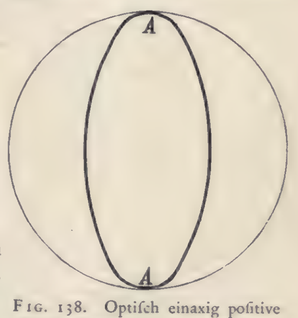


Fig. 138. Optiſch einaxig poſitive Wellenfläche. *A A* optiſche Axe.

Optiſch einaxige poſitive Kryſtalle werden diejenigen genannt, bei welchen die optiſche Axe mit der Axe eines flachen Rotations-Ellipſoïds zuſammenfällt, *A A*, Fig. 138.

Die Geſchwindigkeit der außerordentlichen Strahlen iſt hier größer wie die der ordentlichen. Der Brechungsexponent $\frac{\sin i}{\sin r}$ der ordentlichen iſt größer als der der außerordentlichen (Kalkſpath).

Das Ellipſoïd der Dichte aber iſt nach $c = \sqrt{\frac{e}{d}}\, C$ das reciproke Elaſticitätsellipſoïd der Subſtanz.

Optiſch einaxig negative Kryſtalle zeigen die Wellenfläche der beiſtehenden Fig. 139. Die Geſchwindigkeit der ordentlichen iſt größer als

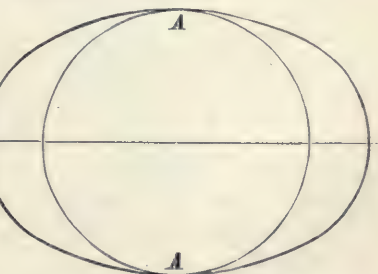


Fig. 139. Optiſch einaxig negative Wellenfläche. *A A* optiſche Axe.

wir nun mit dieſem Plättchen jene beiden Rotationen aus, während *A B C D*, das rothe Plättchen, in diagonaler Stellung feſtliegt, ſo erhalten wir zwei Ringe. Im inneren ſteht die Diagonale der ſtumpfen, α, im äußeren Ring ſteht die Diagonale der ſpitzen Ecken im Leitſtrahl, β, Fig. 140.

Dritter Verſuch.

Wir legen nun auf daſſelbe Plättchen *A B C D*, Fig. 140, einen Glasring, welchen wir von einer 3—4 mm dicken Glasröhre abgeſpalten

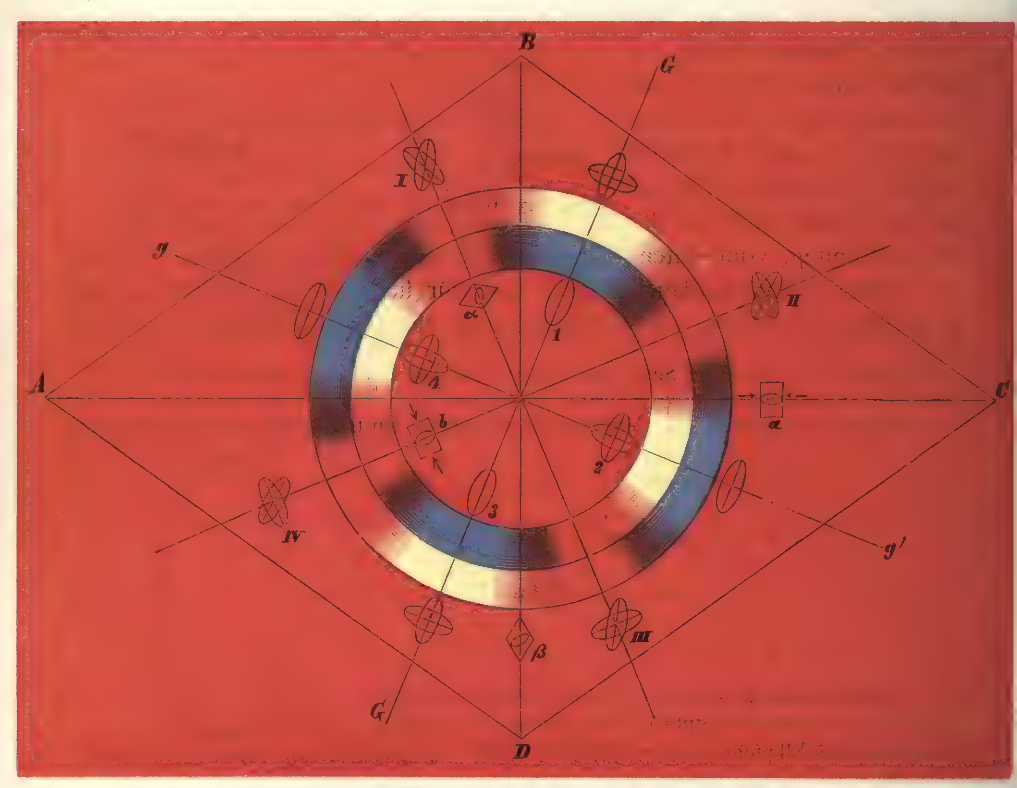


Fig. 140. *A B C D* iſt ein Gypsplättchen von Roth I. *G* iſt die Richtung der größten, *g* die Richtung der kleinſten Elaſticität. Im inneren Farbenring rotirt ein Gypsplättchen Bläulichweiß erſter Ordnung α oder ein in Richtung der Pfeile comprimirtes Glaswürfelchen *b*. Im äußeren Farbenring rotirt ein gleiches Gypsplättchen β oder ein Glaswürfelchen, welches in Richtung der Pfeile *a* comprimirt iſt. *1, 2, 3, 4* die Lage der Elaſticitätsellipſen im feſtliegenden Gypsplättchen zu denjenigen des rotirenden. Im äußeren Ring haben dieſe die umgekehrte Lage, in allen dieſen Quadranten aber ſchneiden ſich die ungleichnamigen Elaſticitätsaxen unter rechtem Winkel oder ſie fallen zuſammen, *1, 3* innen, *2, 4* außen. In den mit *I, II, III, IV* bezeichneten Stellen ſchneiden ſich die Elaſticitätsellipſen unter Winkeln von 45°.

---

die der außerordentlichen (Biot 1814). Der Brechungsexponent der außerordentlichen iſt größer als der der ordentlichen Strahlen. *A A* iſt die optiſche Axe, das innere Ellipſoïd iſt das Ellipſoïd der Dichte. Das Ellipſoïd der Elaſticität liegt umgekehrt, die große Axe ſenkrecht zu *A A*.

Die Lichtbewegung ſteht nun, wie nachweislich, in enger Beziehung zur Elaſticität. Denken wir uns einen elaſtiſchen Stab von elliptiſchem Querſchnitt, ſo werden zu-

haben. In demſelben erſcheinen die Additions- und Subtractionsquadranten genau ſo vertheilt, wie unſere Figur 140 zeigt. Es geht daraus hervor, daß der Glasring ähnliche Spannkräfte beſitzen muß, wie die Kryſtallmaſſe des Gypſes ſelbſt. Dieß beruht darin, daß in dem Glasringe Compreſſions- und Expanſionskräfte herrſchen, welche nun zu unterſuchen ſind.

4. Verhalten gepreßter Glasplatten.

Wird mit Hilfe einer Schraubenklammer ein iſotropes Glaswürfelchen

---

nächſt zweierlei Schwingungen möglich ſein, je nachdem der Stab parallel ſeinem großen oder parallel ſeinem kleinen Durchmeſſer gezerrt wird. Ein ſolcher Anſtoß bringt aber zwei Wellen parallel dem großen und dem kleinen Durchmeſſer zu Stande, wenn er in einer Richtung zwiſchen beiden Hauptdurchmeſſern erfolgte.

Für die Lichtbewegung wird daher der mit der Wellenfläche parallel gehende Querſchnitt des Ellipſoïds maßgebend ſein, d. h. die einfallende Lichtwelle wird bei den einaxigen Kryſtallen nicht in zwei zerlegt, wenn ſie parallel der Hauptaxe geht, denn der Querſchnitt des Elaſticitätsellipſoïds iſt in beiden Fällen ein Kreis. (Fig. I in 141 Elaſticitätsellipſoïd der optiſch einaxig negativen, Fig. II Elaſticitätsellipſoïd der optiſch einaxig poſitiven. Die Ebene

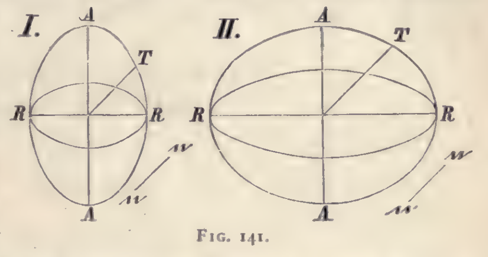


Fig. 141.

R R iſt ein Kreis.) Fällt aber die Welle parallel einer anderen Richtung in den Körper, ſo wird ſie in zwei zerlegt; der Diametralſchnitt (Durchſchnitt durch das Ellipſoïd parallel der Oberfläche der einfallenden Welle) iſt dann eine Ellipſe. Die Schwingungsebenen beider Wellen ſtehen zu einander ſenkrecht, wie im Stabe. Die durch die Schwingung erregte Elaſticität iſt proportional dem Quadrat von *ot*, Fig. 142, ſie iſt, wenn *m* eine Conſtante:

$$e = m\,\overline{ot}^2 = m\,\rho^2, \quad \rho \text{ der Leitſtrahl in der Ellipſe,}$$

und nach der Gleichung für die Ellipſe iſt die erregte Elaſticität

$$E = m\,(\beta^2 \cos^2 \varphi + a^2 \sin^2 \varphi).$$

Fällt nun eine ebene Welle *w w*, Fig. 142, auf das doppelbrechende Medium *A A*, deſſen Elaſticitätsellipſoïd in die Maſſe conſtruirt iſt, ſo kommt der den Winkel φ mit der Axe *A A* machende Diametralſchnitt für unſere Welle zur Wirkung, weil die Elaſticität in der Richtung der Schwingungen und nicht die Elaſticität in der Richtung des Strahles maßgebend iſt.

os iſt die Richtung kleinſter, *ot* die Richtung größter Elaſticität.

Die beiden entſtandenen Wellen haben ihre reſp. Schwingungsebene in *os* und *ot*, zwei Richtungen, die zu einander ſenkrecht in einer Ebene liegen, welche um den Winkel ψ von der Axe abweicht.

Die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit beider Wellen iſt aus $c = C\sqrt{\frac{e}{d}}$ leicht zu finden.

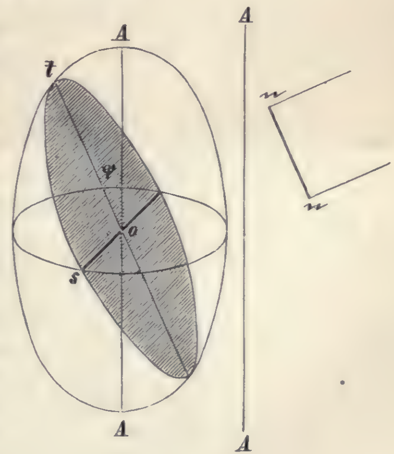


Fig. 142.

von zwei Seiten gepreßt, ſo nimmt die Annäherung der Theilchen in der Richtung der Preſſung zu. Die Dichte wird in dieſer Richtung größer ſein, wie in der dazu ſenkrechten. Ein ſolches Würfelchen wird ſich wie ein Gypsplättchen verhalten, und durch die Größe des Druckes, beziehentlich die Dicke der Glasmaſſe haben wir es in der Hand, bei der Rotation desſelben im Polariſkop genau dieſelben Interferenzphänomene hervorzurufen, welche wir bei der Rotation des Additionsplättchens auf dem feſtliegenden Plättchen von Roth I beobachteten. Wir laſſen das gepreßte Würfelchen zuerſt, rotirend, einen Ring beſchreiben, ſo daß der Leitſtrahl ſenkrecht ſteht zur Richtung, in welcher die Compreſſion erfolgt, *b*, Figur 140. Sodann beſchreiben wir mit demſelben Glaswürfel einen zweiten Ring, indem wir den Leitſtrahl mit der Richtung der Compreſſion zuſammenlegen, *a*, Figur 140. Dieſer entſpricht dem äußeren Farbenring der Figur 140.

5. Verhalten von Glasringen und Glasröhrchen.

Wie ſchon angedeutet, zeigen dünne Glasröhrchen, im Querſchnitte betrachtet, immer deutliche Reaction auf das polariſirte Licht, welche

---

Die Elaſticität im Aequatorialdurchmeſſer *os* ſei α, die Welle, die parallel *os* ſchwingt, erregt ſomit die Elaſticität

$$e = m\,\alpha^2,$$

und ihre Fortpflanzungsgeſchwindigkeit iſt

$$\omega = C\sqrt{\frac{m\,\alpha^2}{d}}, \text{ und wenn } C\sqrt{\frac{m}{d}} = A, \text{ ſo iſt } \omega = A\,\alpha.$$

Wird die Lichtbewegung vom Punkt ω ausgehend gedacht, ſo iſt ihre Wellenfläche nach der Zeit t eine Kugel, deren Radius ωt iſt.

Die Schwingungsrichtung der zweiten Welle geht mit ot parallel und macht den Winkel $90 - \varphi$ mit der Axe. Die durch ſie erregte Elaſticität iſt

$$e = m\,\overline{o\,t}^2$$

und hieraus ihre Fortpflanzungsgeſchwindigkeit

$$c = C\sqrt{\frac{m\,\overline{o\,t}^2}{d}} = A\,\overline{ot}.$$

Die Wellenfläche nach dem Elaſticitätsellipſoïd zu conſtruiren, iſt nunmehr leicht möglich; die der ordinären iſt eine Kugel oder ein Ellipſoïd, die der extraordinären ein Ellipſoïd oder eine Kugel, wir conſtruiren nur die ellipſoïdiſche.

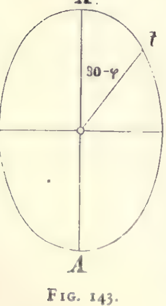


Fig. 143.

Iſt AA, Fig. 143, ein Hauptſchnitt, ot die Schwingungsrichtung, ſo iſt

$$o\,t = \sqrt{\beta^2 \cos^2 (90 - \varphi) + \alpha^2 \sin^2 (90 - \varphi)} = \sqrt{\beta^2 \sin^2 \varphi + \alpha^2 \cos^2 \varphi}.$$

Der Abſtand d iſt aber aus der Geſchwindigkeit c und der Zeit t leicht zu finden:

$$d = c\,t,$$

und hierin iſt (nach früherer Gleichung):

$$d = A\sqrt{\beta^2 \sin^2 \varphi + \alpha^2 \cos^2 \varphi}\; t,$$

und für die Zeiteinheit

$$d = \sqrt{A^2\,\beta^2 \cos^2 \varphi + A\,\alpha^2 \cos^8 \varphi}.$$

außerordentlich verstärkt wird, wenn man ein Gypsplättchen (Roth I) über dem Polarisator einschaltet. Stets findet sich dort im Glasring eine comprimirte innere, eine expandirte äußere Schale. Es entstehen somit die Additions- und Subtractionsquadranten zu dem Roth I mit Gelb und Blau mit wechselnder Lage in den beiden Schalen. Durch Erwärmen wird die Spannung vergrößert und es nimmt die Intensität der Interferenzfarbe zu.

$A\alpha$ ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes parallel der Axe AA Fig. 143, β^2 ist der Elasticität in Richtung der Axe proportional. $A\beta$ ist also die Geschwindigkeit senkrecht zur Axe, sie ist dem reciproken Werth des Brechungsexponenten proportional; bezeichnen wir sie mit ε, so wird

$$d = \sqrt{\varepsilon^2 \cos^2 \varphi + \omega^2 \sin^2 \varphi}.$$

ω und ε sind die Halbaxen des Ellipsoïds, welches die Wellenfläche darstellt, und zwar ist
ω gleich der kleinen Halbaxe der Ellipse TT, Fig. 144,
ε gleich der großen Halbaxe OT.

Nennen wir x die Abstände der Punkte der liegenden Ellipse, TT, Fig. 144, von der kleinen Axe, y die von der TT-Axe, so besteht für die Lage eines Punktes die Gleichung

$$\frac{x^2}{\varepsilon^2} + \frac{y^2}{\omega^2} = 1 \quad (I).$$

Fig. 144.

Ist br die ot parallele Tangente, die mit der Axe AA den $\sphericalangle\, 90 - \varphi$ macht, so besteht die Gleichung für die Punkte der Tangente:

$$y = tang\, \varphi \,.\, x + q \quad (II).$$

Wird $x = o$, so wird $y = q$; hieraus folgt

$$q = oR.$$

oR ist gleich dem Abstand des Punktes, in welchem die Tangente die Axe der aufrechten Ellipse schneidet. Für os, welches senkrecht auf bR steht, erhalten wir:

$$\frac{os}{oR} = \sin oRs,$$

$$Os = q \,.\, \cos \varphi.$$

Sind die Ordinaten des Berührungspunktes $b\,.\,x'\,y'$, so ist (analyt. Geometrie)

$$y = -\frac{\omega^2 x'}{\varepsilon^2 y'}\, x + \frac{\omega^2}{y'} \quad (III).$$

Diese Gleichung geht in (I) über, wenn x zu x' und y zu y' wird, wodurch ihre Richtigkeit erwiesen ist. Wir können nun aus (I) und (II) die folgende Gleichung erhalten:

$$-\frac{\omega^2 x'}{\varepsilon^2 y'} = tang\, \varphi; \; q = \frac{\omega^2}{y'}, \text{ und somit } os = \frac{\omega^2}{y'} \,.\, \cos \varphi.$$

Wird der Abstand os durch den Winkel φ und durch die Halbaxen ω und ε ausgedrückt, so erhalten wir aus den Werthen für y' und $tang\, \varphi$:

$$\frac{1}{\varepsilon^2} = \frac{y'^2}{\omega^4}\left(tang^2 \varphi + \frac{\omega^2}{\varepsilon^2}\right) \text{ oder } \frac{\omega^2}{y'} = \sqrt{\varepsilon^2\, tang^2 \varphi + \omega^2}$$

und endlich:

$$os = \frac{\omega^2}{y'} \cos \varphi = \sqrt{\varepsilon^2 \sin^2 \varphi + \omega^2 \cos^2 \varphi}.$$

Dieser Ausdruck ist dem für d gefundenen identisch. Hieraus folgt, daß die Wellenfläche, welche von einer in dem Erregungspunkt o entstehenden Lichtbewegung ausgeht, ein Rotationsellipsoïd ist, welches um die Richtung oR, Fig. 144, als Axe beschrieben wird.

Es geht aber aus der optischen Analyse hervor, daß die Theilchen im inneren Ringe so durch den Druck afficirt sind, daß sie, sich selbst überlassen, in tangentialer Richtung von einander fliehen würden, s. *b*, Figur 140; in radialer Richtung würden sie sich einander nähern. Umgekehrt liegt die Sache in der äußeren Schale. Dort würden sich die Theilchen (siehe *a*, Figur 140) in radialer Richtung fliehen und in tangentialer

---

Elasticitätsfläche in zweiaxigen Krystallen.

FRESNEL macht hier die Annahme, daß die Elasticität des Aethers nach allen durch einen Punkt gelegten Richtungen verschieden sei. Nach drei zu einander senkrechten Richtungen werden die Axen der Elasticität ungleich sein.

Sind oz, oy, ox diese Axen, so wird die Elasticität, die erregt wird durch eine Schwingung, die parallel OR geht, wenn $\alpha\ \beta\ \gamma$ die $\sphericalangle$ dieser Richtung mit der xyz-Axe sind, sein:

$$r^2 = a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \cos^2 \beta + c^2 \cos^2 \gamma \quad \text{(s. analyt. Geometrie),}$$

und wenn α, β, γ alle möglichen Werthe annehmen, erhalten wir die Elasticität nach allen durch O gelegten Richtungen.

Die Endpunkte von r liegen auf einer rings geschlossenen Ebene, deren Axen abc sind, wo $a > b > c$ ist (dreiaxiges Ellipsoïd).

Ein durch den Schnittpunkt der Axe gelegter Diametralschnitt wird, wenn er rotirt, zweimal das Ellipsoïd in einem Kreis schneiden.

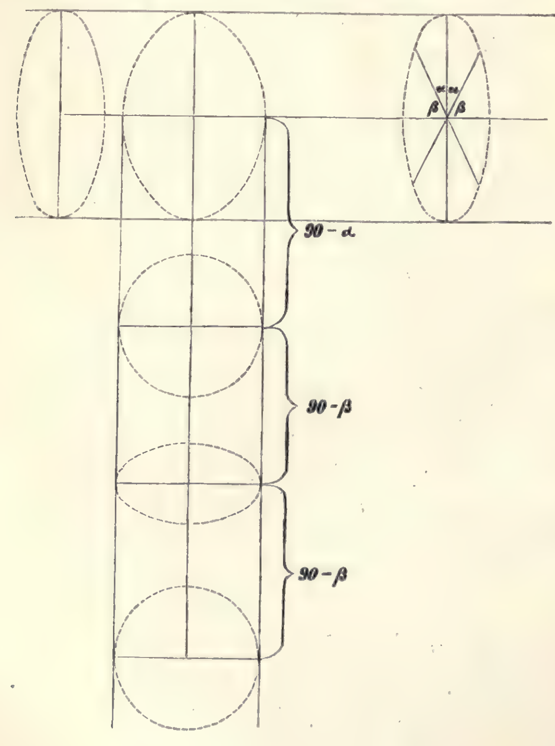


FIG. 145.

Möge das Licht senkrecht zur Ebene des Papieres, Figur 145, durch ein optisch zweiaxiges Medium fallen, dessen Elasticitätsellipsoïd in dieselbe Ebene projicirt sein soll. In der oberen Figurenreihe kommt dann links die Axe der größten und der kleinsten Elasticität zur Wirkung. Drehen wir das Object um die große Axe, so kommt diese und die mittlere und endlich wieder die große und die kleinste Elasticitätsaxe zur Wirkung. Drehen wir aber in der mittleren Lage der in der Figur von links nach rechts verzeichneten Rotation das Object um die mittlere Axe um 90°, so kommt eine Ellipse zur Wirkung, welche die Axen der kleinsten und mittleren Elasticität aufnimmt. Ehe diese Lage erreicht wird und nachdem die Rotation die Werthe (90° — α) oder 90° — β (s. die Figur rechts oben) zurückgelegt hat, wird die wirk-

nähern. Da aber der Ring eine Verlöthung aller Molecularschalen ist, so halten sich die antagonistischen Zugkräfte das Gleichgewicht, d. h. die Cohäsion der Theilchen überwindet die Zugkräfte, welche den Ring in concentrische Schalen zu zerlegen streben.

Wirkt der innere Ring dort durch einen radialen Druck gleichmäßig expandirend auf den äußeren, so wird der erstere positiv, der letztere negativ gespannt. Beide mögen in dem Zeitpunkt der Entstehung isotrop und nicht völlig erhärtet sein; in dem Momente aber, wo sie erhärten, möge die vorgenannte Spannung noch herrschen. Nach diesem Uebergang aus dem plastischen in den starren Zustand muß alsdann das System anisotrop sein, wie es das Schema für die radiale Vertheilung wirklich doppeltbrechender Krystalle darstellt.

Beim Abmustern zahlreicher Glasröhren fand ich einen Ring, welcher so gekühlt war, daß er, bezogen auf ein Gypsplättchen Roth I, genau die Erscheinungen des Schema Fig. 140 zeigte. Er muß somit aus zwei Schalen bestehen, von welchen die innere positiv, die äußere negativ gespannt ist. In der inneren herrschen Abstoßungskräfte, in der äußeren Anziehungskräfte.

Fig. 146. In dem Glasringe sind die Anziehungs- und Abstoßungskräfte bei einer einseitigen Compression in Richtung der Pfeile *a b* durch den im Text beschriebenen Klammer-Apparat *A* so vertheilt, wie die Pfeile andeuten. α α' die Abstoßung. β β' die Anziehung in dem ganzen Ringe. In jedem Theile der Wand sind diese Kräfte nochmals polarisirt, wie man aus der Addition und Subtraction sieht, wenn der Ring in das Polarisationsmikroskop gelegt wird.

Wird der Ring einmal erkältet und einmal erwärmt, so verhält er sich bezüglich der inneren Spannung wie die trockene Membran, wenn wir sie einmal in Canadabalsam, einmal in Wasser legen. In unserem Glasringe, in welchem, wie schon gesagt, die beiden Schalen, Fig. 140, zusammen verschmolzen sind, wachsen wechselnd die blauen oder gelben Quadranten. Wächst die Temperatur, so wachsen die gelben Quadranten und es wandert der Lichteffect über die blauen. Sinkt die Temperatur, so wächst Blau und es wandert der Lichteffect über die gelben Quadranten. Man sieht somit, daß bei dem starren Glase durch die Temperatur

same Ellipse zum Kreis mit der mittleren Axe der Elasticität als Radius. Zweimal kann dieses Ellipsoïd durch Kreisflächen geschnitten werden. Die Normalen zu diesen Flächen werden optische Axen genannt. Der Winkel, welchen beide einschließen, wird von der Axe der größten Elasticität halbirt. Bei verschiedenen doppeltbrechenden Massen ist dieser sehr verschieden groß. Man theilt aber alle Krystalle nach dem Werth dieses Winkels in zwei Klassen:

ähnliche Spannkräfte erregt werden, wie in den Membranen durch präexiſtirende, während der Evolution entſtandene Molecularkräfte. In unſerem Glasring muß mit wachſender Temperatur, mit Vergrößerung der Molecularabſtände die Intenſität des Lichteffectes wachſen, weil die Spannung zunimmt.

Man kann dieſe optiſchen Phänomene noch deutlicher mit Hilfe des Apparates Fig. 146 ſtudiren. Ziehen wir die Schrauben, welche den Glasring Fig. 146 in eine Ellipſe verwandeln, an, ſo ſteigert ſich im Polariſkop die Interferenzfarbe. Jetzt iſt aber im Großen und Ganzen die Dichte in der Richtung der Pfeile *a b* größer, während die Ellipſe der Elaſticität mit ihrer großen Axe ſenkrecht zu *a b* ſteht, d. h. die Elaſticitätsellipſe fällt, da ſie den reciproken Werth der Dichtigkeitsellipſe hat, mit der Ellipſe *B*

Iſt der von der Axe größter Elaſticität halbirte Winkel der beiden Kreisflächen ein ſpitzer, ſo iſt derſelbe Winkel zwiſchen den optiſchen Axen ein ſtumpfer; ſolche Kryſtalle heißen:

Zweiaxig poſitive.

Iſt der von der Axe größter Elaſticität halbirte Winkel der beiden Kreisflächen ein ſtumpfer, ſo iſt derſelbe Winkel zwiſchen den optiſchen Axen ein ſpitzer; ſolche Kryſtalle heißen:

Zweiaxig negative.

Sind durch Beobachtung die Winkel zwiſchen den optiſchen Axen gegeben, ſo kann die Wellenfläche conſtruirt werden.

Sind in Fig. 147 die Axe größter und *c c* die Axe kleinſter } Elaſticität und die Kreisſchnitte verzeichnet, und ſchneidet man aus der Subſtanz ein Prisma, deſſen Grenzflächen ſenkrecht zur Ebene der Zeichnung, alſo ſenkrecht zur Ebene der optiſchen Axen ſtehen, ſo nimmt die brechende Kante die Axe der mittleren Elaſticität auf. Ein ſenkrecht zur brechenden Kante durch das Prisma gehender Strahl wird in zwei zerlegt, von welchen einer den gewöhnlichen Brechungsgeſetzen folgt, deſſen Brechungscoëfficient $=$ *const* iſt.

Iſt *const* $= \beta$, ſo wird die Geſchwindigkeit im Kryſtall v_c gefunden (nach S. 126)

$$\beta = \frac{v}{v_c}, \text{ wo } v \text{ die Geſchwindigkeit des Lichts in Luft bedeutet.}$$

v_c iſt aber $= A\,b$ und daraus b die mittlere Elaſticität

$$b = \frac{v}{A\beta} = \frac{\tau}{\beta}.$$

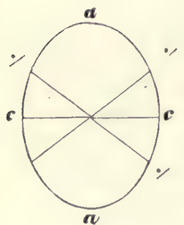


Fig. 147.

Schleifen wir ein zweites Prisma, deſſen Seiten der erſten Mittellinie parallel ſind, ſo beſtimmen wir den Brechungsexponenten γ und daraus die kleinſte Axe c, wenn die brechende Kante dieſes Prisma's die Axe kleinſter Elaſticität aufnimmt.

In ähnlicher Weiſe wird a beſtimmt, wenn in dem nach der erſten Mittellinie orientirten Prisma die große Elaſticitätsaxe parallel geht, mithin wenn $\alpha\ \beta\ \gamma$ die Brechungsexponenten, ſo verhalten ſich

$$a : b : c = \frac{1}{\alpha} : \frac{1}{\beta} : \frac{1}{\gamma}.$$

Zu dieſen experimentellen Beſtimmungen iſt nur die Kenntniß der Ebene erforderlich, welche die optiſchen Axen aufnimmt.

des gepreßten Ringes zuſammen. Daher erſcheint der Glasring, wenn er auf einem Gypsplättchen Roth I rotirt, dann additionell, wenn ſeine größere Axe mit der großen Elaſticitätsaxe im Plättchen zuſammenfällt.

Wenden wir uns nun zu jenen beiden Ringen Fig. 140 zurück. Stellen wir uns vor, dieſelben ſeien Membrandurchſchnitte aus pflanzlichen oder thieriſchen Zellen, ſo geht aus den Verſuchen hervor, daß das Phänomen auf zweierlei Weiſe erklärt werden kann:

I⁰ Die Ringe ſind aus kryſtalliniſchen Moleculen zuſammengeſetzt, welche ſtreng geſetzmäßig um das Centrum des Durchſchnitts geordnet ſind, derart, daß immer für alle die gleiche Kryſtall-, beziehungsweiſe Elaſticitätsaxe mit dem Radius zuſammenfällt.

II⁰ Die gedachten Membranringe beſtehen aus erhärteter colloïdaler Maſſe, in welcher die Compreſſion, beziehentlich Expanſion, allgemein die Spannung in allen Membranelementen gleichmäßig vertheilt iſt.

Construction der Wellenfläche der zweiaxigen Krystalle.

Nehmen wir zunächſt an, die Lichtbewegung pflanze ſich in einer Richtung fort, welche in der Ebene der optiſchen Axe liegt, alſo auch in der Ebene der größten und kleinſten Elaſticität, ſo wird der Diametralſchnitt der Elaſticitätsfläche die Ellipſe mit den Axen b und a oder c ſein. Eine Elaſtitätsrichtung wird unveränderlich b ſein, eine andere der beiden kann aber den Werth a oder c oder einen zwiſchen beiden erhalten.

Wenn das einfallende Licht nicht polariſirt iſt, ſo wird es in zwei Wellen zerlegt, von welchen die eine eine Kugel, die andere ein Ellipſoïd iſt.

Die Kugel iſt mit dem Radius b, das Ellipſoïd iſt mit den Axen c und a beſchrieben; daraus folgt, da $a > b > c$, daß die Rotationsfläche dieſer beiden Wellenflächen folgende Geſtalt hat:

$\overline{12} = \frac{a}{2}$, $\overline{13} = \frac{b}{2}$, $\overline{14} = \frac{c}{2}$, Fig. 148 bis 150.

Fig. 148.

Geht die Lichtbewegung parallel einer Ebene, welche die Axe mittlerer b und kleinſter c Elaſticität aufnimmt, ſo werden zwei Wellen gebildet, von welchen eine den conſtanten Werth der größten Axe a hat, während die andere, als in der Schwingungsrichtung belegen, Elaſticität b oder c oder eine der zwiſchen b und c liegenden haben wird. Die erſte wird eine Kugel mit dem Radius $A\,a$, die andere ein Ellipſoïd mit den Axen $b\,c$ ſein und die Geſtalt der Rotationsfläche iſt wie in Fig. 149.

Pflanzt ſich endlich die Lichtbewegung parallel der Ebene der Axen a und b fort, ſo zerfällt ſie in eine, die nach allen Richtungen den conſtanten Elaſticitätswerth in der Richtung der Schwingungen c gibt; die eine Wellenfläche wird daher eine Kugel ſein mit dem Radius $A\,c$, die andere kann, je nach der Richtung, alle Werthe zwiſchen $A\,a$ und $A\,b$ erhalten, ſie wird eine Ellipſe ſein mit den Axen a und b und die Rotationsfläche wird die in Fig. 150 angedeutete Geſtalt beſitzen.

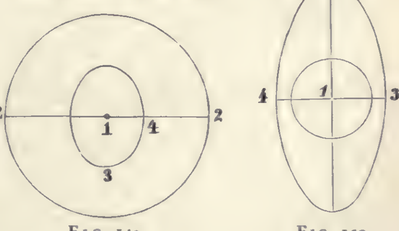


Fig. 149. Fig. 150.

6. Verhalten pflanzlicher Gewebedurchschnitte.

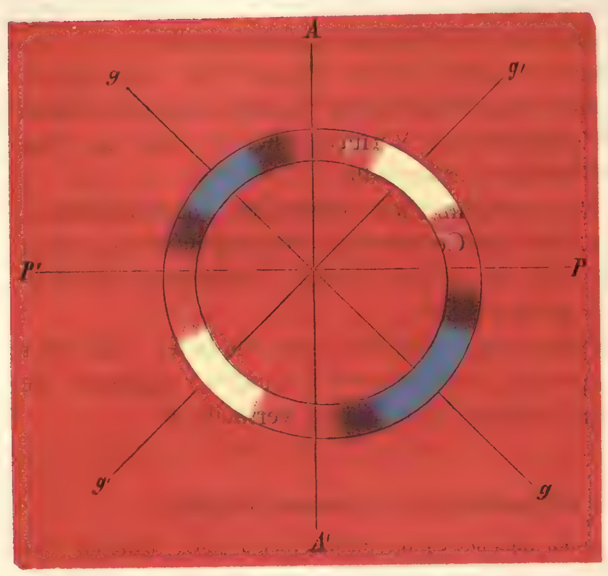


Fig. 151. Querſchnitt der Caulerpaſtammzelle im polariſirten Licht.

Von der Erklärung der Polariſationsphänomene in pflanzlichen Geweben ſoll hier zunächſt ganz abgeſehen ſein. Wir vergleichen zunächſt lediglich die kreisförmigen oder polygonen Durchſchnitte durch die Zellen der verſchiedenen Gewebe mit den Ringen der Figur 140, indem wir das Gypsplättchen Roth I im Inſtrument feſtliegen laſſen.

So wie der innere Ring verhalten ſich alle Querſchnitte durch Gefäße und Holzzellen, durch das Markgewebe, die Flächenanſicht der Tüpfel in der radialen Längswand der Nadelhölzer, ebenſo Querſchnitte durch Holzcylinder, welche aus Collodium, aus Gelatine erſtarrt ſind, die Endoſpermzellen von Phytelephas, die Intine der äußeren Zellmembran aller Epidermen.

Dem äußeren Ringe entſprechen die Zellen des Korkes, die Cuticu-

---

Interferenz.

Beginnt ein Punkt ſeine Bewegung ſpäter, wie ein Gegebener, ſo wird die Lage des erſteren zu finden ſein durch

$$y = \alpha \sin 2\pi \frac{\tau}{T};$$

τ aber kann ſein $t = \tau - t'$, alſo ein beſtimmter Theil der Oscillationsdauer des erſten Punktes

$$y - \alpha \sin 2\pi \frac{t-t'}{T}.$$

Wenn c die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Welle, ſo iſt

$$c\,t' = x,$$

worin x die Entfernung des zweiten Punktes vom erſten bedeutet,

$$t' = \frac{x}{c}$$

und

$$y = \alpha \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{c\,T}\right).$$

Während der Zeit T pflanzt ſich das Licht um eine Wellenlänge fort:

$$c\,T = \lambda,$$

larschichten und die Cuticula, der Querschnitt der Stammzelle von Caulerpa, Fig. 151, und einiger Meeresalgen, die Stärkekörner, die Inulinsphäroïde und der Querschnitt einer Zelle, welche aus Traganthschleim um ein Cylindermodell entstanden ist.

Dem Verhalten der beiden verwachsenen Ringe entspricht die äußere cuticularisirte Membran der Epidermis.

Bei allen Längsschnitten durch Pflanzenzellen hat man zu beachten die Lage des Schnittes; dieser wird sein ein radialer oder ein tangentialer Längsschnitt. Die Wirkung für den letzteren wird auch erreicht, indem

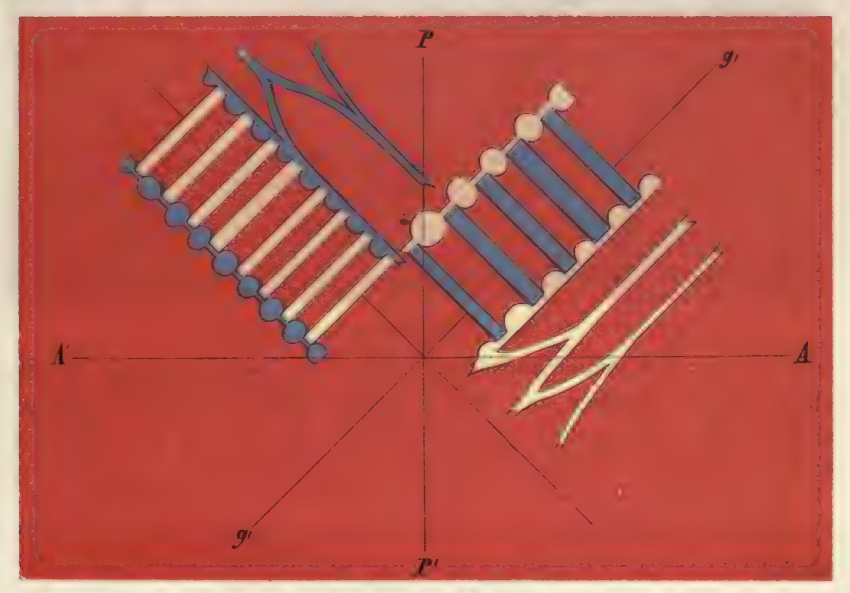


FIG. 152. Gefäße von Impatiens im polarisirten Licht. $A\ A'$ $P\ P'$ die Schwingungsebenen der Nicols, $g'\ g'$ diejenigen im Gypsplättchen Roth I.

---

daher wird die obige Gleichung geschrieben werden können:

$$y = \alpha \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$v = \beta \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right).$$

Nach der Figur 156 ist also die Lage aller Punkte und ihre Geschwindigkeit aus diesen letzten zwei Gleichungen zu bestimmen.

x wird in Wellenlängen zu bestimmen sein, der Punkt ist in der o- oder α- und $-\alpha$-Lage nach folgenden Werthen von x:

Ist $t = n\,T$, so ist $x = o$ und $y = \alpha \sin 2\,n\,\pi = o$.

Ist $x = m\,\lambda$; $\frac{x}{\lambda} = m$, so ist $y = \alpha \sin 2\,(n - m)\,\pi = o$.

Alle Punkte, die ganze Wellenlängen von einander entfernt sind, sind in der Gleichgewichtslage. (Fig. 135, s. oben S. 130.)

man die Membran zu einer Ebene ausbreitet. Handelt es ſich um iſolirte Zellen, Holzfaſern, Baſtzellen, Haare u. ſ. f., ſo iſt bei dem Einſchalten in das Polariſkop zu beachten, daß das Object, je nach der Einſtellung, zweierlei zeigt: die obere und untere Cylinderwand (dieſe Flächen ent-

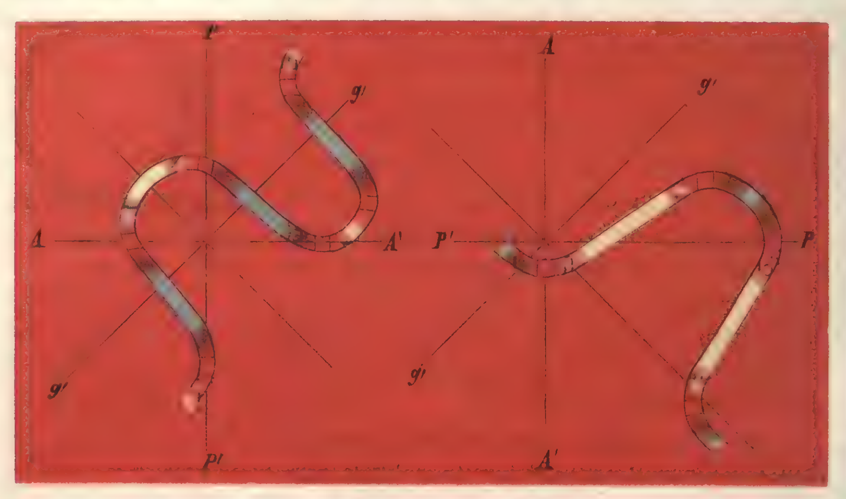


Fig. 153. Impatiens, Spiralfaſer im polariſirten Licht.

ſprechen dem Tangentiallängsſchnitt oder der aufgewickelten Membranfläche) und die Streifen der Wand, welche ihren optiſchen Durchſchnitt darſtellen, da, wo nämlich die cylindriſche Wand von der Unter- nach

---

Alle Punkte, die eine ungerade Anzahl halber Wellenlängen von einander entfernt ſind, ſind in der Gleichgewichtslage. (Fig. 135, ſ. oben.)

Iſt nämlich $x = (2\ m + 1)\frac{\lambda}{2}, \frac{x}{\lambda} = \frac{2\ m + 1}{2},$

ſo iſt $y = \alpha\ sin\ (2\ n - (2\ m + 1))\ \pi = o.$

Alle Punkte, die ungerade Anzahlen von $\frac{\lambda}{2}$ von einander entfernt ſind, beſitzen entgegengeſetzte Geſchwindigkeiten.

Wären zugleich an mehreren Stellen der Punktreihe Wellen erregt, ſo pflanzen ſich dieſe über die Punktreihe fort und ſetzen ſich zuſammen; y wird dann aus den an einzelnen Bewegungen zukommenden Entfernungen beſtehen, ſo daß

$$Y = y_{,} + y_{,,} + y_{,,,} + \ldots\ldots$$

Iſt der Abſtand des zweiten Erregungspunkts vom erſten x und α' die Amplitude der zweiten Bewegung, ſo iſt für dieſe die Lage der Punkte gegeben durch

$$y' = \alpha\ sin\ 2\ \pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right).$$

Iſt a die Entfernung des zweiten Erregungspunktes, ſo iſt

$$X' = x - a \quad \text{und}$$

$$= \alpha'\ sin\ 2\ \pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x - a}{\lambda}\right).$$

der Oberſeite umbiegt. Alle dieſe Schnitte, beziehungsweiſe Streifen, erſcheinen im Polariſkop wie homogene, dünne Gypsplättchen. Sie erſcheinen auf dem Gypsplättchen Roth I additionell oder ſubtractionell gefärbt, alſo gelb oder blau, und die bisher geſchilderte Methode läßt lediglich die eine Beſtimmung zu: in welcher Richtung liegt die Axe der größten oder kleinſten Elaſticität im gegebenen Streifen?

Legen wir z. B. die tangentialen Längsſtreifen eines Gefäßes oder einer Holzzelle in das Polariſkop, ſo finden wir additionelle Färbung, wenn die Axe parallel mit g' g' im Gypsplättchen Figur 154 ſteht; daraus und aus den Ringen Fig. 154 folgt die Axe größerer Elaſticität. Sie ſteht im Querſchnitt radial ($r > t$), im Längsſchnitt ſteht die größere tangential ($t > l$). Wir erhalten ſomit $r > t > l$, damit aber iſt die Lage des Ellipſoïdes beſtimmt.

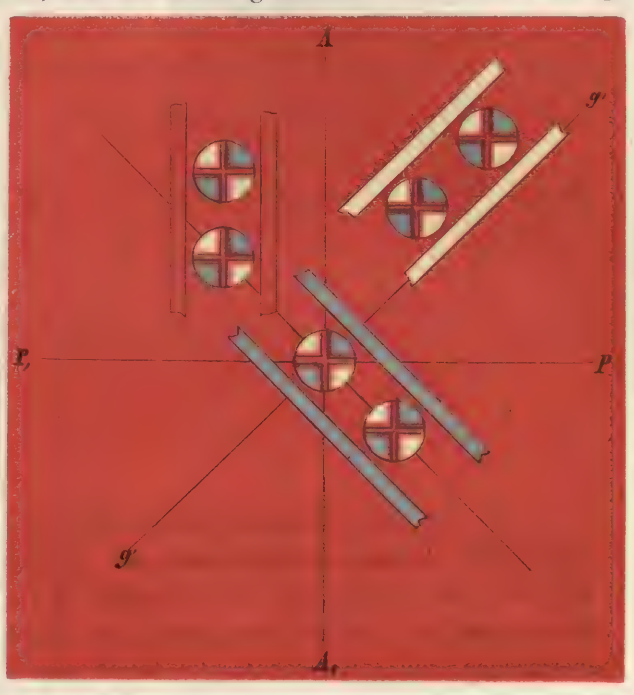


FIG. 154. Pinus, Holzzelle (Tüpfel) im polariſirten Licht.

Ein Cylinder von Traganthgummi zeigt im Querſchnitt die große

---

Gehen beide Bewegungen gleichzeitig über die Punktreihe, ſo wird

$$Y = y + y' = \alpha' \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x - a}{\lambda}\right) + \alpha \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$= \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\alpha + \alpha' \cos 2\pi\frac{a}{\lambda} + \cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\alpha' \sin 2\pi\frac{a}{\lambda}.$$

Beſtimmen wir zwei Größen A und D, ſo daß

$$A \cos 2\pi\frac{D}{\lambda} = \alpha + \alpha' \cos 2\pi\frac{a}{\lambda},$$

$$A \sin 2\pi\frac{D}{\lambda} = \alpha' \sin 2\pi\frac{a}{\lambda},$$

ſo wird $$Y = A \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} + \frac{D}{\lambda}\right).$$

Es reſultirt ſomit aus beiden einzelnen Wellenbewegungen eine neue, deren Am-

Elaſticitätsaxe tangential, die kleine radial orientirt. Im Radiallängsſchnitt iſt die große Axe parallel der Cylinderaxe, die kleine radial geſtellt. Dasſelbe ergibt ſich aber auch für den Tangentiallängsſchnitt. Nennen wir

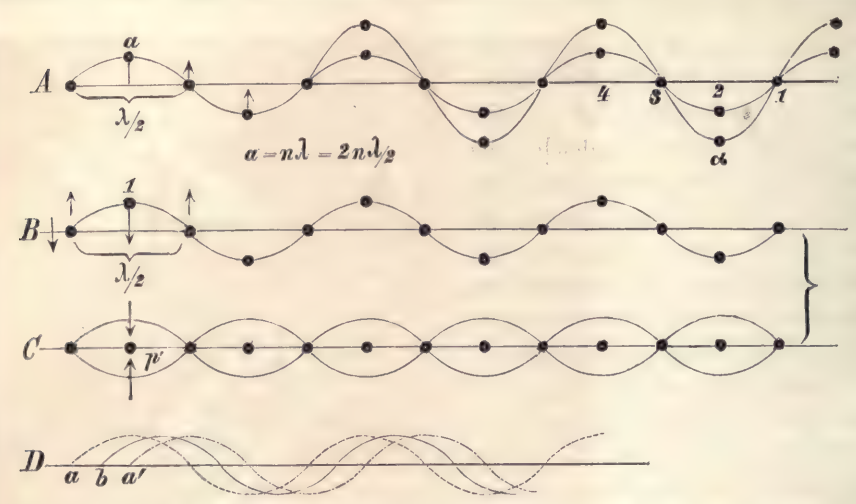


FIG. 155. In A iſt eine Punktreihe in Schwingung mit der Amplitude a. Geht nun eine zweite Welle über die Reihe, nachdem die erſte Welle um ganze Wellenlängen fortgeſchritten iſt, ſo werden die Anſtöße ſich ſummiren und die Amplitude vergrößern, ſo daß z. B. der Punkt 2 die Amplitude α erhält. — In B iſt der Durchſchnitt eine Wellenbewegung; iſt der Gangunterſchied der zweiten Welle eine halbe oder ungerade Vielfache einer halben Wellenlänge, ſo wird der Punkt 1 von der erſten Bewegung im Sinne des Pfeiles p, von der zweiten im Sinne des Pfeiles p' afficirt; die Bewegung wird dadurch o. — C Durchſchnitt der beiden Wellen, welche ſich in dieſem Sinne gegenſeitig vernichten; rücken wir die eine Curve um $\frac{\lambda}{2}$ fort, ſo geht C in A über. Endlich iſt in D die Interferenz zweier Wellen dargeſtellt, welche um $\frac{1}{4}$ Wellenlänge von einander entfernt ſind. Die reſultirende Welle iſt um $\frac{1}{8}$ verſchoben.

plitude A iſt und deren Phaſe gegen die erſte um D, gegen die letzte um $a - D$ verſchieden iſt.

Schwingungsdauer und Wellenlänge haben ſich nicht geändert. Aus obiger Gleichung erhalten wir:

$$A = \sqrt{a^2 + \alpha'^2 + 2\,\alpha\,\alpha' \cos 2\pi\frac{a}{\lambda}}$$

$$\sin 2\pi\frac{D}{\lambda} = \frac{\alpha'}{A}\sin 2\pi\frac{a}{\lambda}.$$

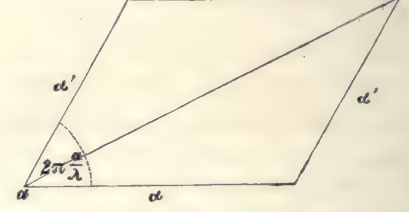


FIG. 156.

$a\,b$ iſt die componirte Amplitude Fig. 156. A wird nun zur Summe der Theilamplituden $\alpha\,\alpha'$, wenn in

$$A^2 = \alpha^2 + \alpha'^2 + 2\,\alpha\,\alpha' \cos 2\pi\frac{a}{\lambda}.$$

$a = n\lambda$, d. h. wenn der Phaſeunterſchied o oder das Vielfache einer ganzen Wellenlänge wird, dann iſt nämlich

$$\cos 2\pi\frac{a}{\lambda} = \cos n\pi = 1,$$

mithin $$A^2 = \alpha^2 + \alpha'^2;\ A = \alpha + \alpha'.$$

Iſt aber $a = \frac{\lambda}{2}$ oder $= (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$, ſo wird

r die Elaſticität in radial-transverſaler, t in tangential-transverſaler und l in der Längsrichtung, ſo erhalten wir für die drei Ebenen:

Querſchnitt . . . . $t > r$,
Radiallängsſchnitt . . $l > r$,
Tangentialſchnitt . . . $l > t$.

Aus den beiden erſten Ungleichungen ergibt ſich t und l größer wie r. Nun könnte t gleich oder kleiner oder größer wie l ſein. Aus der letzten Ungleichung ergibt ſich aber $l > t$. Somit liegt die Axe größter Elaſticität im Längsſchnitt, die mittlere liegt transverſal-tangential und die kleinſte liegt radial.

Ganz in derſelben Weiſe ergibt ſich das Elaſticitätsellipſoïd im Collodiumcylinder, die radiale als größte, die tangentiale als mittlere, die Längsrichtung als kleinſte. Drehen wir eine Nadelholzzelle in dem gedachten Sinne, Fig. 154, ſo wirkt der Tüpfel genau ſo, wie der Querſchnitt oder wie ein coniſches Loch, welches wir uns in die Zellwand gebohrt denken, die Längswand aber bekommt, wie vorher die Spiralleiſten, bei der Drehung nach und nach die Farben eines Additionsplättchens, Gelb Subtraction, Blau Addition, Roth neutrale Lage (ſ. Farbenringe Fig. 140).

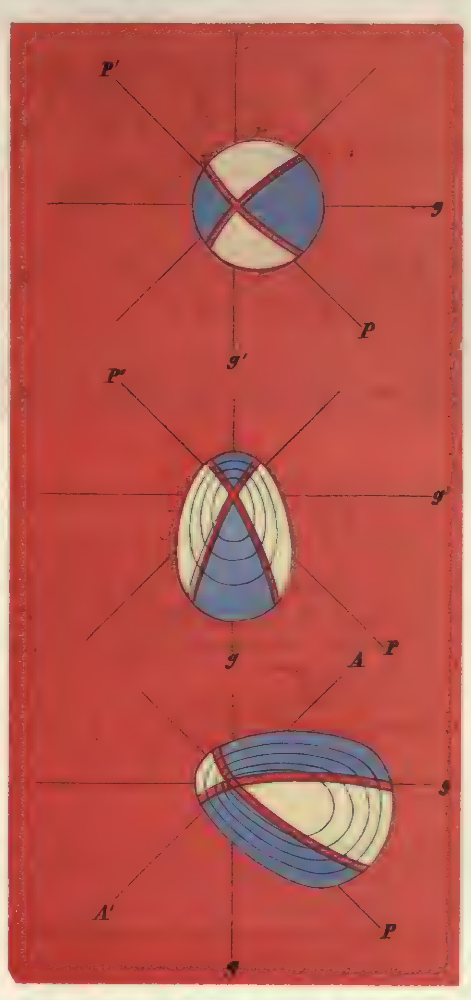


Fig. 157. Im nicht erleuchteten Geſichtsfeld, bei gekreuzter Stellung der Nicols entſprechen den dunklen Stellen im Amylumkorn die Polariſationsebenen der gekreuzten Nicols. Bei Gegenwart eines Gypsplättchens Roth erſter Ordnung entſpricht das Roth im Amylumkorn den Polariſationsebenen der Nicols. *A* die große Elaſticitätsaxe im Amylumkorn iſt ſenkrecht zur Schichtung.

Die Cuticula der Aloë zeigt eine entgegengeſetzte Lage des wirkſamen Elaſticitätsellipſoïdes, wie die mit ihr verwachſene Celluloſe-

---

$cos\ 2\pi \frac{a}{\lambda}$ zu $cos\ 2\pi (2n + 1)$ oder zu $\frac{3\pi}{2}$, alſo -1, und wenn $\alpha = \alpha$, ſo wird $A = o$, d. h. es tritt keine Bewegung ein.

Erhält a irgend einen anderen Werth, z. B.
$a = (n + {}^1/_4)$, λ mithin $cos\ 2\pi (n + {}^1/_4)$; $cos\,(2n + {}^1/_2)\,\pi = o$, mithin $A^2 = \alpha^2 + \alpha'^2$, ſo wird das Parallelogramm ein Quadrat, wenn $\alpha' = \alpha$,

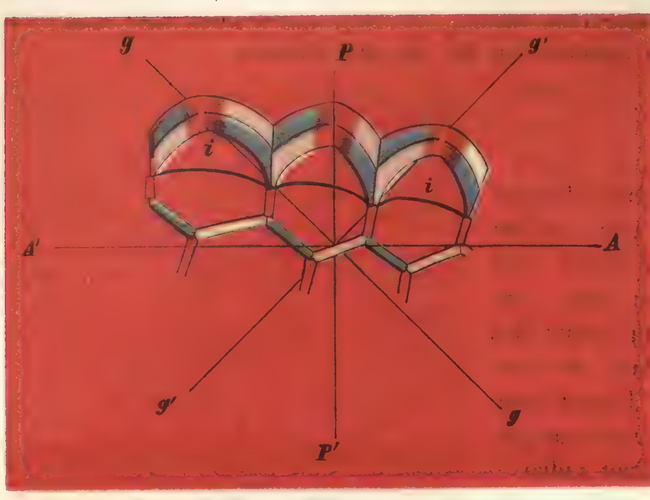


Fig. 158.

(Intine)-wand. Figur 158. Bei dem Durchſchnitt durch die Epidermis, Figur 158, ſteht die wirkſame Ellipſe innen radial, außen tangential. Hier hat man eine der halbkugeligen Wölbungen, Fig. 158, zu vergleichen mit dem Farbenring Figur 140; der innere Ring dort entſpricht der Intine, der äußere Ring entſpricht der Exine.

7. Argumente für und gegen die Annahme krystallinischer Molecule in der Membran.

Nägeli folgerte in dieſer Weiſe, daß die Molecule der pflanzlichen Membran kryſtalliniſch ſein müſſen:

1⁰ Die Membran iſt im gequollenen wie im trockenen Zuſtande doppelbrechend.

$$A' = \alpha \sqrt{2}$$

$$2\pi \frac{D}{\lambda} = 45^0 = {}^1/_4\,\pi,$$

$$D = {}^1/_8\,\lambda;$$

die Reſultirende iſt ſomit um $^1/_8\,\lambda$ von den beiden Interferirenden verſchoben.

Die Farben dünner Plättchen' (Seifenblaſe, Glas, Oelſchicht) kommen bekanntlich durch Interferenz dadurch zu Stand, daß der refl. Strahl von der vorderen und hinteren Fläche einen Gangunterſchied von einer halben Wellenlänge erfährt. Fig. 159.

Hat das Blättchen die Dicke von $^1/_2\,\lambda$ oder das Vielfache für den gegebenen homogenen Lichtſtrahl, ſo wird es in der Farbe desſelben leuchten. Wird das Licht, aus einem dichten Medium kommend, an ein weniger dichtes übertragen, ſo ſchwingen die Punkte der Grenzſchicht im dünnen Medium gerade ſo, wie wenn ſie die Fortſetzung der Punktreihe im dichteren wären. Es geht aber von ihnen in's dichtere Medium die Bewegung zurück. Fig. 160. Nach $T/4$ einer $^1/_4$ Schwingungsdauer iſt der Grenzpunkt in m und ein halbes Wellenthal iſt in's erſte Medium zurückgeſandt. Nach $T/2$ iſt ein ganzes Wellenthal zurückgeſandt u. ſ. f., während die ankommende Welle im dünneren Medium mit größerer Amplitude fortſchreitet. An einem dichteren Medium wird die

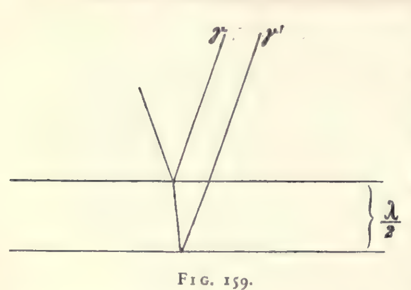


Fig. 159.

2^0 Zug und Druck auf die Membran bringen eine Steigerung der Interferenzfarbe nicht hervor.

3^0 Die Molecule der Membran sind doppelbrechende Krystalle, welche

---

lebendige Kraft des letzten schwingenden Theils nicht ausreichen, die Bewegung auf den Punkt der Grenzschicht zu übertragen. Kommt die Welle wie vorher mit einem Wellenthale in der Grenzschicht, Fig. 161, an, so wird der Punkt *m* die entgegengesetzte Bewegung ausführen und die reflectirte Welle geht mit einem halben Wellenberg nach $T/4$ in's erste Medium zurück; nach $T/2$ ist ein ganzer Wellenberg zurückgelegt u. s. f.

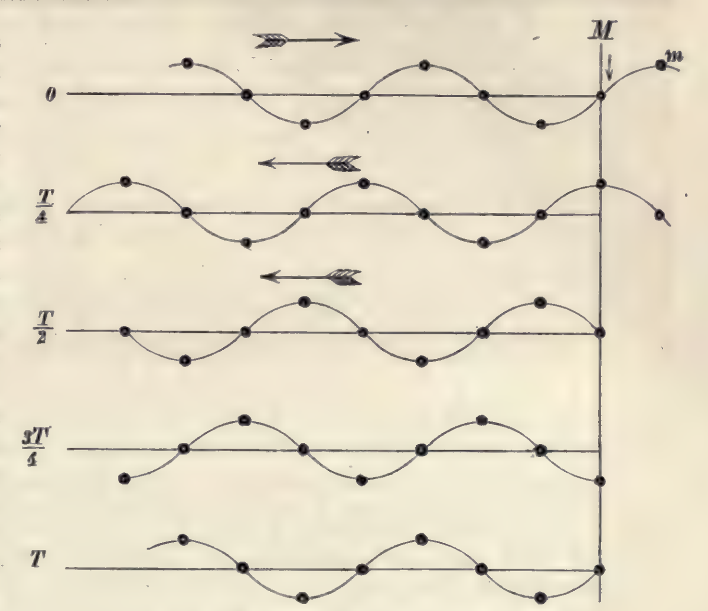


Fig. 160. Reflexion an einem dichteren Medium.

Beachten wir nach den beiden Tafeln, daß derselbe Strahl an der Grenze eines dünneren nach einem dichteren anders reflectirt wird, so erhalten wir den Gangunterschied nach den zwei Tafeln in folgender Abbildung.

Wir wenden Licht von bestimmter Wellenlänge λ an und wählen die Dicke der Luftschicht $d = \frac{\lambda}{2}$, dann macht der Lichtstrahl in I den Weg bis zur Luftschicht. In II, nach $^1/_4$ Oscillationsdauer ist er auf dem Rückweg in's Glas und hat einen Weg von $\frac{1}{2}$ Wellenlänge in die Luftschicht gemacht, wird dort reflec-

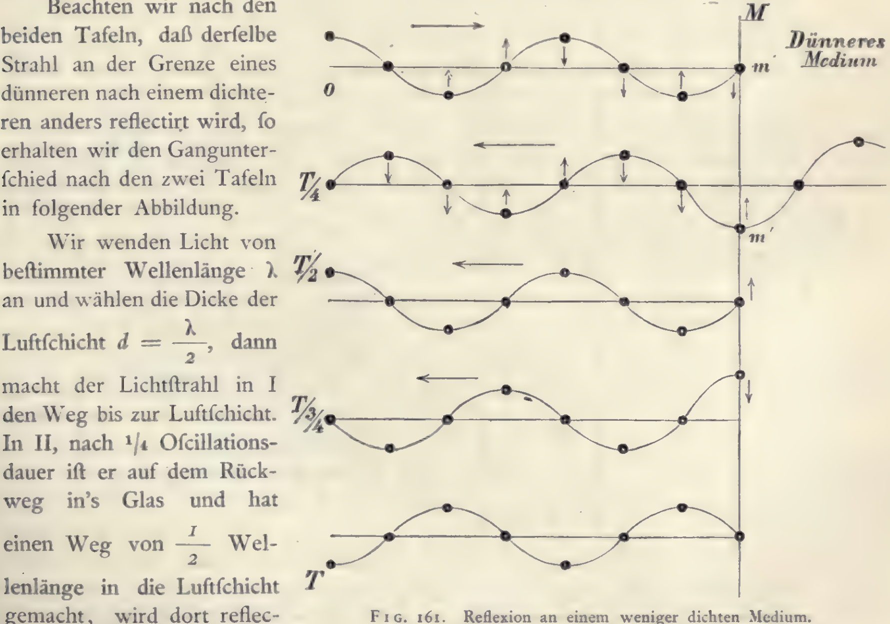


Fig. 161. Reflexion an einem weniger dichten Medium.

verſchiebbare Waſſerhüllen beſitzen. Zug und Druck beeinfluſſen daher den Grad der Doppelbrechung nicht, wiewohl ſie eine Verſchiebung, even-

---

tirt, verliert aber wiederum ½ Wellenlänge. In III und IV tritt alſo Vernichtung der Bewegung im erſten Mittel (Glas) ein. Dieß muß eintreten, wenn

1⁰ $\delta = \frac{\lambda}{2}$, dann iſt der Gangunterſchied $2\,\delta = \lambda$,

2⁰ $\delta = \lambda$, » » » » $2\,\delta = 2\,\lambda$,

3⁰ $\delta = \frac{3\,\lambda}{2}$, » » » » $2\,\delta = 3\,\lambda$.

Von jedem Gangunterſchied geht den beziehentlichen Wellengängen eine halbe Oſcillation verloren, die beiden Strahlen interferiren daher mit dem Phaſenunterſchied von ½ Oſcillation.

Wird aber die Dicke der Luftſchicht bei gleicher Wellenlänge

$\delta = \frac{3\,\lambda}{4}$, ſo wird der Gangunterſchied $\frac{6\,\lambda}{4} = \frac{3\,\lambda}{2}$,

$\delta = \frac{5\,\lambda}{4}$, » » » » $\frac{10\,\lambda}{4} = \frac{5\,\lambda}{2}$,

$\delta = \frac{7\,\lambda}{4}$, » » » » $\frac{14\,\lambda}{4} = \frac{7\,\lambda}{2}$.

Die Dicke der Luftſchichten in den aufeinanderfolgenden hellen Ringen iſt, wenn die Dicke der hellen Mittelfelder gleich *1* geſetzt wird, gleich *3.5.7*.

Iſt die Dicke des dunkeln Mittelfeldes bei dem NEWTON'ſchen Experiment gleich *o*, ſo iſt die der dunkeln Ringe *2.4.6.8*.

Bei einem Keil, einem dünnen Plättchen, einem NEWTON'ſchen (Linſen-Planglas-) Apparat werden die reſp. Erſcheinungen auch dann eintreten, wenn die der dünnen Schicht ſtärker brechende ſind, als die Grenzflächen, nur werden die hellen Streifen die Dicken *o.2.4.6*, die dunkeln dagegen die Dicken *1.3.5.7.8* beſitzen.

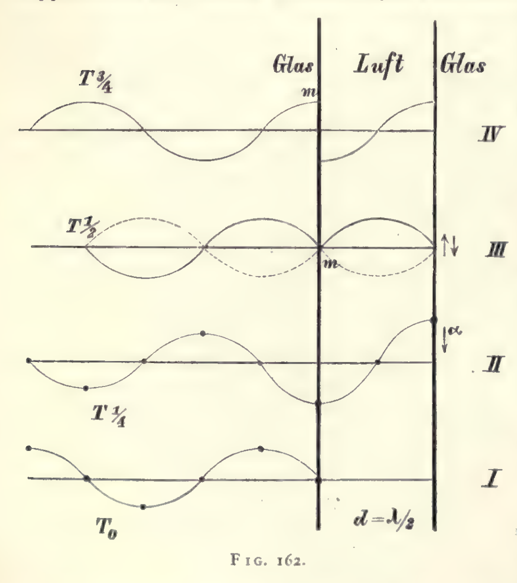


FIG. 162.

In einem Keil aus Luft oder Gyps werden alle möglichen Lichtſtrahlen interferiren können, weil hier δ alle Werthe der $\frac{\lambda'}{2}, \frac{\lambda''}{2}, \frac{\lambda'''}{2}, \frac{\lambda''''}{2}$ der verſchiedenen Lichtſtrahlen annehmen kann.

Genauere Beachtung für unſeren Zweck verdient der Gypskeil und das Gypsplättchen im polariſirten Licht.

1⁰ Wir wiſſen, daß in gekreuzten Nicols Gypsplättchen oder Keil in vier Lagen hell, in vier dunkel ſind (Fig. 133, ſ. oben).

2⁰ Ein Plättchen von beſtimmter gleichmäßiger Dicke leuchtet in den vier Lagen mit gleicher beſtimmter Farbe, in den vier anderen Lagen (ſ. Fig. 140) iſt es dunkel wie das Geſichtsfeld.

tuell auch eine Annäherung oder Entfernung der doppelbrechenden Kryſtallmolecule bewirken mögen. Die trockene Membran aber reagirt in dem geforderten Sinne, wie beim Glaſe auf Druck oder Zug.

Gegen dieſe Vorſtellung läßt ſich mit einiger Berechtigung folgender Einwurf erheben:

1⁰ Die Membranen ſind, mit Waſſer geſättigt, weniger doppelbrechend, weil ſie eine geringere Dichte beſitzen. Die Intenſität der Interferenzfarbe ſteigt inſtantan, wenn ſie mit Flüſſigkeiten wie Alkohol, ätheriſche Oele, Canadabalſam imbibirt werden, welche das Volum zuſammenziehen. Hieraus folgt aber:

2⁰ Zug und Druck können nicht eine Annäherung der feſten Theile hervorbringen, wie wenn ein Glaswürfel zwiſchen zwei Schrauben gepreßt wird. Wohl aber iſt jene Annäherung der Molecule durch Flüſſigkeiten möglich (ſ. S. 112), welche die Membran zuſammenziehen, und von den geforderten Folgen begleitet.

3⁰ Zerriebene Membranen und Stärkekörner verlieren jede Einwirkung auf das polariſirte Licht. Der feinſte Staub doppelbrechender Kryſtalle iſt aber in jedem Staubindividuum noch doppelbrechend.

Verſuche von Maxwell haben eine weſentliche Erweiterung unſerer Vorſtellung über Molecularſtructur der flüſſigen und feſten Körper herbeigeführt. Maxwell zeigt, daß jede zähe Flüſſigkeit durch Zug oder Druck ſich vorübergehend wie ein feſter Körper verhalten kann, daß ſomit Spannung zwiſchen den kleinſten Flüſſigkeitstheilchen möglich iſt. (Ueber Doppelbrechung in einer bewegten zähen Flüſſigkeit. Maxwell, Poggend. Ann.

3⁰ Bei Kreuzung gleichdicker Gypsplättchen oder Drehung eines Plättchens um das andere feſtliegende treten zwei neue Farben, wenn das eine dicker wie das andere, auf; ſind beide gleichdick, ſo tritt nur eine Farbe oder Dunkelheit ein, je nach der Lage.

Zunächſt iſt klar, daß, da die Farbe von der Dicke abhängt, der Gangunterſchied bei durchgelaſſenem Licht mit in Betracht kommt. Betrachten wir zunächſt ein Plättchen von gleicher Dicke und einen Keil. Das Plättchen und der Keil erſcheinen in diagonaler Lage (Fig. 133) hell. Mit einem einfarbigen Glas betrachtet, erſcheint das Plättchen hell, der Keil hat helle und dunkle Streifen.

Die Dicke bewirkt alſo hier wie in den Newton'ſchen Ringen den Gangunterſchied. Hier beim Gyps allgemein, bei den doppelbrechenden Kryſtallen kommt aber kein Reflexionsphänomen, ſondern ein Brechungsphänomen in Betracht. Die beiden interferirenden Strahlen im Gypsplättchen beſtimmter Dicke müſſen daher beim Eintritt in den Gyps ungleiche Geſchwindigkeit erhalten.

Die Geſchwindigkeit zweier Strahlen verhält ſich aber (ſ. oben S. 127) nach dem Huighens'ſchen Princip umgekehrt wie die Brechungsverhältniſſe:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \qquad v : v' = n' : n \qquad v = \frac{v' \, n'}{n},$$

$$\frac{\sin i'}{\sin r'} = n' \qquad v : v' = \frac{1}{n} : \frac{1}{n'} \qquad v = v \frac{n'}{n}.$$

d. Phyf. 1874, Nr. 1.) MAXWELL weift nach, daß durch die Reibung an einem ftarren Stabe, welcher durch eine zähe Flüffigkeit bewegt wird, Polarifationserfcheinungen wahrnehmbar find, daß mithin thatfächlich eine folche Flüffigkeit vorübergehend einem ftarren Körper gleich wird. Nach meinen Verfuchen kann man nun in folchen Flüffigkeiten, welche fonft zu anifotropen Körpern erftarren, die Elafticität in jedem Sinne vertheilen, wenn man in dem Momente des Erftarrens durch Umrühren, Zug oder Druck die Theilchen in Bewegung fetzt.

8. Künstliche Membranen aus Cellulosederivaten.

Es ift bekannt, daß ifotropes Glas durch Druck anifotrop gemacht werden kann; man könnte aus einem Glaselement durch Druck ein Element herftellen, welches dem Gyps in feinen Wirkungen auf das polarifirte Licht ganz gleich ift. Hört der Druck auf, fo geht das Glas wieder in den ifotropen Zuftand über.

Schlecht gekühltes Glas ift aber an fich fchon in Folge der Spannung in ihm anifotrop. Eine anifotrope Glasröhre bis zu gewiffem Grade zertrümmert, verliert mit der Spannung die Wirkung auf polarifirtes Licht.

In optifcher Hinficht und in der Entftehung haben die Glasröhre und die Pflanzenzelle die folgenden Züge gemein.

Man kann in diefer Zufammenftellung noch das Marienglas, den Gyps mit in Betracht ziehen, und es mögen alsdann die drei Körper in ihrer Umwandlung verglichen werden:

Wir wiffen nun, daß der Gyps nach drei zu einander fenkrechten Richtungen ungleich elaftifch ift, daß eine in ihn eindringende Lichtbewegung in zwei nach den Richtungen der größten und kleinften Elafticität orientirte Schwingungen zerlegt wird.

Der polarifirte Lichtftrahl im Polarifator wird auf diefe Richtungen im Gyps übertragen, dort entftehen zwei zu einander fenkrecht polarifirte Strahlen, diefe zwei Strahlen pflanzen fich ungleich fchnell fort und werden auf die Schwingungsebene des Analyfators übertragen. Sie erhalten Gangunterfchied im Gyps und Phafenunterfchied bei der letzten Uebertragung auf eine Schwingungsebene, daher muß das Plättchen bei Anwendung homogenen Lichtes, je nach dem letzten Phafenunterfchied, hell oder dunkel erfcheinen.

Bei einem Plättchen beftimmter Dicke, wo alfo nur Farben beftimmter Art zum Vorfchein kommen, interferiren (d. h. erhalten den zur Stärkung der Intenfität nöthigen Phafenunterfchied) Strahlen beftimmter Wellenlänge.

Der Strahl in der *G*-Ebene, Fig. 163, eilt dem Strahl in der *g*-Ebene um eine beftimmte Anzahl halber Wellenlängen voraus. Die Amplitude der beiden Strahlen in *G g* wird abhängen von den Winkeln φ φ'. Die Intenfität des Lichts (der beftimmten Wellenlänge beim Gypsplättchen von gleicher Dicke) wird abhängen von der Amplitude; es ift leicht einzufehen, daß das Maximum der Helligkeit eintreten wird, wenn $\varphi = \varphi' = 45^0$. Fig. 163.

An dem Polarifationsmikrofkop liegt, bei der von uns der Einfachheit halber gewählten Stellung aller Theile (nämlich gekreuzte Stellung der Nicols und diagonale Lage des Gypsplättchens Roth I), die Sache fo: In dem unteren Nicol entfteht eine linear po-

Gyps.	Glas.	Zellmembran.
Zustand:		
a) In Lösung.	*a*) Geschmolzen.	*a*) Im zähschleimigen Plasma.
b) Ein Krystall schießt an und ist doppelbrechend.	*b*) Wird in eine Form gegossen oder geblasen, fest. Diese zeigt Polarisationserscheinungen oder nicht, je nach dem Vorgang der Kühlung, und ist durchsichtig.	*b*) Wächst in eine feste Hülle, Cylinderzelle der Caulerpa oder massive Kugel, Stärkekorn, im Beginn der Evolution isotrop und ist und bleibt durchsichtig.
c) Der Krystall wächst durch Apposition doppelbrechender Molecüle. Ist nach drei Richtungen geschichtet und spaltbar, zeigt keine Quellung.	*c*) Die Glasröhre zeigt im Querschnitt concentrische Ringstreifen, zeigt keine Quellung.	*c*) Wächst durch Intussusception, wird anisotrop und zeigt drei Quellungsaxen. Zeigt im Querschnitt concentr. Schichten, welche wechselnd stärker und schwächer quellen.
d) Wird zum feinsten Pulver zertrümmert, jedes Staub-Individuum zeigt Doppelbrechung.	*d*) Die anisotrope Röhre zertrümmert, die Trümmer haben die Anisotropie verloren.	*d*) Ueber den Caulerpaquerschnitt geht ein Achatpistill unter dem Druck der Muskelkraft — das Amylumkorn wird zertrümmert. Die Anisotropie wird dadurch in beiden vernichtet.

larisirte Welle, welche sich im Gypsplättchen in zwei senkrecht zu einander polarisirte Strahlen zerlegt. Die Schwingungsebenen dieser schließen Winkel von 45° mit der Schwingungsebene des Analysators ein. Sie werden bei dem Eintritt in den oberen Nicol auf dessen Schwingungsebene übertragen und kommen dort zur Interferenz.

Wenn in *C* ein schwingender Aetherpunkt in der Schwingungsebene des Polarisators *P P*, Fig. 163, durch eine Welle afficirt wird und zwischen $a\ a'$ oscillirt, $g\ g'$ die Schwingungsebenen des Gypsplättchens bedeuten, so wird nach dem Parallelogramm der Kräfte die Schwingung in g nach $\alpha\ \alpha'$, in g' nach $\beta\ \beta'$ erfolgen. In derselben Weise, aber umgekehrt, werden die beiden Schwingungen $\alpha\ \beta$ auf die Schwingungsebene des Analysators $A\ A'$ übertragen; sie kommen auf die gleiche Amplitude $\gamma\ \gamma'$, unter der Voraussetzung, daß sie in g und g' die gleiche Amplitude, also Schwingungsintensität, besaßen. α und β müssen bei dem Eintritt in die Krystallmasse des oberen Nicols oder beim Austritt aus $g\ g$ einen Gangunterschied erhalten. Es ist zu untersuchen, wie die Aetherpunktreihen in solchen Ebenen sich verhalten, welche senkrecht zu $\alpha\ \alpha'$, $\beta\ \beta'$, $\gamma\ \gamma'$ orientirt liegen. Die beiden Wellen $\alpha\ \alpha'$, $\beta\ \beta'$ schreiten, da sie ungleiche Elasticität in der Transversalrichtung antreffen, mit ungleicher Geschwindigkeit fort, sie erhalten einen Gangunterschied von $\frac{\lambda}{2}$, $\frac{3\lambda}{2}$, $\frac{5\lambda}{2}$, beziehungsweise $\frac{2\lambda}{2}$, $\frac{4\lambda}{2}$. Wenn die Schwingung im unteren Nicol von a nach a' geht, so wird sie, wenn wir das Gypsplättchen in die Lage $g_1\ g_1\ g_1'\ g_1'$ bringen, nunmehr nach $a\ a'$ in der einen und nach $b\ b'$ in der anderen Schwingungsebene übertragen; sie kommt nach $c\ c'$ in der Schwingungsebene

Von unseren drei Körpern kann nur die Zellmembran nach der Vollendung der Form noch Spannkräfte anhäufen, welche unabhängig von der Temperatur sind. Es sind dieß eben die Anziehungskräfte zu Flüssigkeiten.

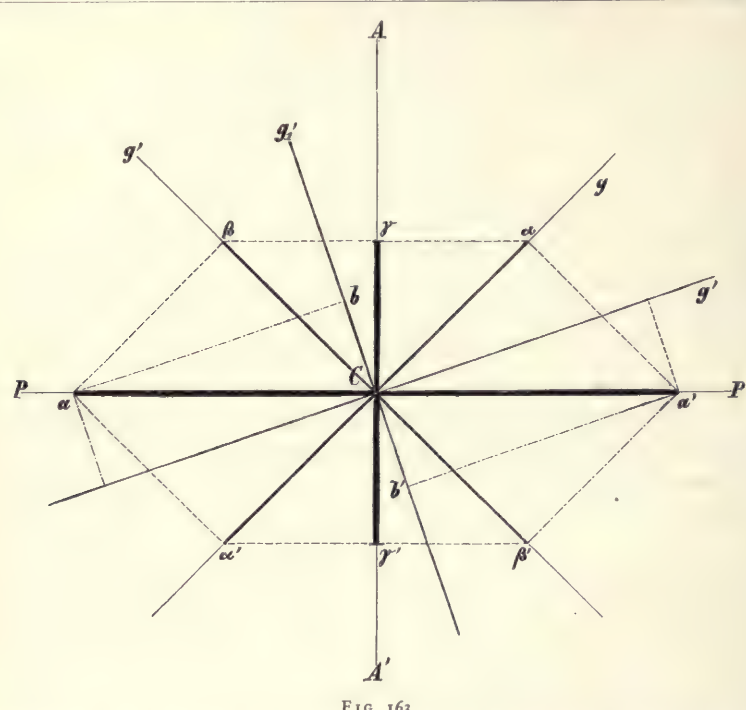


Fig. 163.

des Analysators, die Intensität ist gesunken. Sie wird gleich Null, wenn $g\,g_,$, $g_,\,g_,$ mit $A\,A'$ $B\,P'$ zusammenfallen.

Liegt nun das Plättchen genau in der diagonalen Stellung, so wird die Amplitude $C\,a$ $C\,a'$ in der Ebene g des Plättchens $= c\,\alpha$, $c\,\alpha'$ und in g' wird sie $C\beta$, $C\beta'$, beide auf $A\,A'$ übertragen, wird dort die Amplitude $C\gamma$, $C\gamma'$. Ist φ der Winkel, welchen $g\,g'$ mit P einschließen, so ist $C\alpha = \cos\varphi \,.\, \overline{Ca}$. Ist $\varphi = 45^0$, so sind die Amplituden in g und g' die gleichen. Bei der Uebertragung der beiden Schwingungen auf $A\,A$ wird dort

$$C\gamma = \cos \overline{C\alpha}.$$

Interferiren die Strahlen in $\gamma\,\gamma'$, so erhält der componirte Strahl die Intensität

$$J = \sqrt{C\gamma^2 + C\gamma_,^2 + 2\,C\gamma^2 \cos\,(\delta \pm 180)^0}.$$

Hier bedeutet nach Früherem δ den Phasenunterschied der beiden Wellen. Dieser Ausdruck ist aber

$$J = \sqrt{2\,a^2 \sin^2\varphi \cos^2\varphi - 2\,a^2 \sin^2\varphi \cos^2\varphi \cos\delta}.$$

Die Lichtintensität entspricht dem Werthe

$$J^2 = 2\,a^2 \sin^2\varphi \cos^2\varphi\,(1 - \cos\delta).$$

Wird φ gleich Null, fallen $g\,g'$ mit $A\,P$ zusammen, so wird der Sinus gleich o, das Gesichtsfeld erscheint dunkel. In dem gleichen Sinne werden die beiden Wellen in $g\,g'$ nach einem zweiten doppelbrechenden Medium, welches über $g\,g'$ eingeschaltet ist, und von dort endlich auf die Schwingungsebene des oberen Nicols übertragen.

In jedem Maſſenelemente der Membran herrſchen ſolche ſpecifiſche Anziehungskräfte für verſchiedene Flüſſigkeiten; Waſſer entfernt die feſten Theile am weiteſten. Alkohol, Canadabalſam, ätheriſche Oele ziehen ſie ſelbſt viel näher zuſammen, wie im trockenen Zuſtande. Eine trockene Membran iſt in Bezug auf Waſſer in poſitiver, in Bezug auf Canadabalſam aber in negativer Spannung; werden dieſe Spannkräfte befriedigt, ſo nähern ſich die Theilchen, ſo beim Canadabalſam, wodurch die Reaction auf das polariſirte Licht in der auffallendſten Weiſe verſtärkt wird, oder ſie entfernen ſich ſo beim Waſſer, wodurch die beſagte Reaction merklich geſchwächt wird.

Zur Analyſe dieſer Erſcheinungen beachte man, daß, wenn ein aniſotroper feſter Körper plötzlich ſo ſtark quillt, daß die Theilchen auf große Entfernungen aus ihren Kraftcentren hinaus in's Waſſer gelangen, dann die Aniſotropie verſchwinden muß, ehe die Körper vollſtändig flüſſig ſind; haben ſie unter dem Einfluß dieſer Kräfte ihre Doppelbrechung verloren, ſind ſie gar flüſſig geworden, wie der Traganthſchleim, der Stärkekleiſter, das Collodium, ſo haben ſie ihre Aniſotropie verloren. Es ſchien aber auch, daß es nunmehr nicht mehr möglich ſei, die Theilchen wieder ſo zu nähern, daß ihre Wirkungsſphäre eine andere wie eine Kugel werde, daß ſie eben iſotrop werden. Dieſe Vorausſetzung iſt falſch. Man kann Bedingungen herſtellen, unter welchen die genannten flüſſigen Membranogene ſo erſtarren, daß ſie eine voraus zu beſtimmende ellipſoïdiſche Wirkungsſphäre erhalten.

Wenn man auf eine ebene Glasfläche ein flüſſiges Colloïd gießt, welches verdunſtend ſchrumpft und zur glasartigen Haut erhärtet, ſo entſteht an und für ſich ſchon mindeſtens ein optiſch einaxiger Körper in Form einer Platte, weil die Molecularkräfte in der Ebene der Glasfläche andere ſind, wie in einer Ebene ſenkrecht zu dieſer. Bei dem Schrumpfen iſt die moleculare Kraft in der Ebene des Glaſes nach allen Richtungen gleich, daher iſt für den Strahl, welcher ſenkrecht zur Ebene des Plättchens aus erhärtetem Colloïd dasſelbe durcheilt, die Ellipſe der Elaſticität ein Kreis, das Plättchen erſcheint iſotrop. Iſt aber eine Luftblaſe in der Schicht aus Collodium, Traganthſchleim, Stärkekleiſter und wird dieſelbe während des Erhärtens eingeſchloſſen, ſo müſſen zellenartige, luftführende Hohlräume, welche von einer optiſch einaxigen Colloïdſchicht eingeſchloſſen ſind, entſtehen.

In der That zeigt der optiſche Durchſchnitt einer Luftblaſe in den erhärteten Colloïden zu einem Gypsplättchen Roth I alle Phänomene, welche eine iſodiametriſche Zelle des Grundgewebes in der Pflanze zeigt. Dabei iſt es offenbar einerlei, ob die Blaſe in Collodium, Traganthſchleim oder Stärkekleiſter liegt, ſie wird in allen Fällen optiſch einaxig ſein.

Es iſt daher in hohem Grade wahrſcheinlich, daß diejenigen Gewebe in der Pflanze, welche während ihrer ganzen Evolution nach allen Richtungen des Raumes gleichmäßige Streckung erfahren, in ihren optiſchen Eigenſchaften ſolchen Luftblaſen gleichkommen.

Die Phänomene in den auf Glasplatten erhärtenden Colloïden ſind ſo lehrreich, daß ich hier noch einige zu beſprechen wünſche:

Erſcheinungen in künſtlichen Collodium-, Traganth-, Stärkekleiſter-Membranen.

Wir gießen auf mehrere Objectträger die Flüſſigkeiten, bezogen auf die Glasfläche in der folgenden Reihenfolge:

I.	II.	III.
Glasfläche.	Glasfläche.	Glasfläche.
Stärkekleiſter.	Traganthſchleim.	Collodium.

Wir laſſen erhärten und fertigen mit einigen der Objectträger noch die folgenden Combinationen an:

IV.	V.	VI.	VII.
Glasfläche.	Glasfläche.	Glasfläche.	Glasfläche.
Stärkekleiſter.	Traganth.	Collodium.	Collodium.
Collodium.	Collodium.	Stärkekleiſter.	Traganth.

Bei allen nachfolgenden Beobachtungen liegt der Objectträger über einem Gypsplättchen Roth I bei gekreuzter Stellung der Nicols.

Erſcheinung an I und II.

Die Colloïdſchicht erſcheint in der Fläche iſotrop, zeigt äußerlich keine Spannung. Zieht man mit einer ſcharfen Nadel im Momente des Erhärtens Namenszüge, Zickzacklinien hinein, ſo erſcheinen die Ränder der Züge, welche dem Querſchnitt der Membranlamelle entſprechen (man beachte den Nadelholztüpfel Fig. 154), additionell oder ſubtractionell.

Orientirt man ſie zur großen Elaſticitätsaxe des Gypſes, ſo findet man, daß dieſe ſenkrecht zum Rande des Zuges ſteht. Hieraus ergibt ſich die große Axe der Elaſticität ſenkrecht zur Membranfläche, die kleine in der Membranfläche oder umgekehrt.

Die eingeſchloſſene Luftblaſe zeigt merkwürdiger Weiſe eine verſchiedene Lage der Elaſticitätsellipſe in dem optiſchen Durchſchnitt. Bei Collodium und Stärke ſteht die große Axe tangential, bei Traganthſchleim ſteht ſie radial. Hieraus geht hervor, daß auch in flüſſigen Colloïden durch die bloße Adhäſion die Spannkräfte in gleichem Sinne polariſirt werden, wie in der erhärtenden Membran in der Pflanze.

Erſcheinungen an III.

Die Colloïdſchicht erſcheint in der Fläche iſotrop, zeigt außer der

areolenartigen, den Photographen bekannten Streifung äußerlich keine Spannung.

Die Ränder der Züge zeigen da, wo ſie glatt abgeriſſen, keine Veränderung oder nur äußerſt ſchwache Addition und Subtraction, erſtere, wenn der Rand parallel der großen Axe im Gyps, letztere, wenn er ſenkrecht dazu ſteht. Da aber, wo Falten ſich gebildet, erſcheint Subtraction und Addition. Läuft die Falte parallel der großen Axe im Gyps, ſo erſcheint Addition.

Erſcheinungen an IV bis VI.

In dünnen Schichten zeigen dieſe Membranen, wiewohl ſie der Spannung nach von der Glasfläche ab $\pm$ IV, V; $\mp$ VI, VII geſpannt ſind, mit wenig kleinen Abweichungen dieſelben Erſcheinungen. V reißt ſchärfer und zeigt Addition und Subtraction in dem Rande der Züge. VII zeigt keine Veränderung im Rand des Zuges. Beide aber zeigen in den Orten der ſtärkſten Preſſung durch den Gang der Nadel die ſtärkſte Addition und Subtraction. In dicken Schichten verhalten dieſelben Membranen ſich in den Riſſen wie eine Cuticula Exine und Intine, ſo daß derſelbe Rand des Zuges Addition und Subtraction zeigt.

Liegt dabei die poſitiv geſpannte Schicht (Traganth oder Stärke) in der Glasfläche, Collodium außen, ſo kommt es meiſt zum Zerreißen der nach der Glasfläche concav gekrümmten Muſchelflächen. In ſolchen Bruchſtücken ſind die Polariſationserſcheinungen am brillanteſten. Fertigt man,

---

Bestimmung der Lage des Elasticitätsellipsoïds in der pflanzlichen Membran, wenn die Axen irgend welchen Winkel mit den Axen der Zelle bilden.

Unter Axen der Zellen ſoll die Cylinderaxe einer cylindriſchen oder der Durchmeſſer einer kugeligen oder der Längsdurchmeſſer einer prismatiſchen Zelle verſtanden ſein, ſowie die tangentiale und radiale Richtung durch die Membran; die drei Axen ſcheiden ſich dann unter rechtem Winkel.

Bezogen auf dieſes Axenſyſtem, kann dann das dreiaxige Elaſticitätsellipſoïd des rotirenden Kryſtalls eine beliebige Lage haben; dieſe Lage zu beſtimmen, bezogen auf die Axen der Zelle, iſt die eigentliche Aufgabe der Polariſationsricoſkopie.

Dieſelbe läßt ſich kurz dahin definiren: Es ſoll der Winkel zwiſchen den zwei optiſchen Axen geſucht und beſtimmt werden, ob das Kryſtallelement ein optiſch poſitives oder optiſch negatives iſt. Sind dieſe Daten gegeben, dann iſt es leicht, das Elaſticitätsellipſoïd in die Membran zu conſtruiren.

Was die experimentellen Operationen zu dieſer Aufgabe anbelangt, ſo iſt klar, daß das zu unterſuchende Object entweder geſchliffen oder geſchnitten oder geſpalten werden muß, ſollen die verſchiedenen Normallagen der wirkſamen Ellipſe zum einfallenden Strahl möglich ſein.

Bedient man ſich der Methode des Schneidens nach drei zu einander ſenkrechten Richtungen, ſo genügt ferner ein einfacher Goniometer, um Winkel in einer Ebene zu beſtimmen.

ehe die Membran reißt, Querſchnitte, nachdem man ſie S-förmig aufgerollt hat, ſo entſprechen die S-Ringe den Querſchnitten der Membran-Cylinder, welche an dem Federkiel entſtanden ſind[1]).

Die Unterſuchung dieſer Schnitte bietet zweierlei Intereſſe:

1⁰ zeigt ſie uns die Wirkung der Adhäſion auf iſotrope Colloïde,

2⁰ kann entſchieden werden, ob eine begrenzte Quellung unſerer künſtlichen Lamellen die Spannung und Aniſotropie vernichtet oder ob ſie, wie bei den fertigen Pflanzenhäuten, die Intenſität der Polariſationserſcheinung nur dämpft (ſ. oben Spannung zu Waſſer und Canadabalſam).

Die wechſelnd und mehrfach geſchichteten Lamellen aus Collodium und Traganth laſſen an Farbenpracht die pflanzlichen Membranen weit hinter ſich.

Ich ſtelle die Beobachtungen in dem Nachfolgenden ſo zuſammen, daß ich von den allgemeinen nach den beſonderen Eigenſchaften fortſchreite:

I. Dünne Lamellen, aus wenig Schichten (mindeſtens zwei) nach IV bis VII angefertigt und aus S-förmigen Convoluten geſchnitten, ferner dünne Ringe, verhalten ſich, bezogen auf ein Gypsplättchen von Roth I, wie der Ring Intine.

Beſchränkte Quellung in Waſſer oder Alkohol ändert die Lage der Elaſticitätsellipſe nicht. Dabei iſt es gleichgültig, ob die Fläche, welche in den Lamellen IV bis VII mit der Glasfläche zuſammenfiel, durch das Rollen in der S-Figur poſitiv (concav), negativ (convex) geſpannt wird bis

[1]) Streng genommen iſt dieß nicht richtig, weil in den Cylindern die Colloïde erhärteten unter der Einwirkung anderer Tangentialkräfte; in der aufgewickelten Cylinderfläche muß die Ellipſe nicht wie in den auf der Glasebene erhärteten Membranen ein Kreis ſein, weil im Cylinder die Tangentialſpannung parallel der Axe eine andere iſt, wie in einer Transverſalrichtung.

Man könnte auch den durch die obenbeſchriebene Rotation entſtehenden Cylinder der Länge nach aufſchneiden und die Cylinderwand flach legen; das rechteckige Stück, welches ſo entſteht, verhält ſich ganz wie ein Gypsplättchen.

Bei der Methode des Drehens des Objectes aber ſind zwei Winkelmeſſer für zwei aufeinander ſenkrechte Ebenen abſolut nöthig. Wir bedienen uns der letzteren Methode als der exacteren und behandeln zunächſt die Aufgabe an einem Cylinder, an welchem zunächſt ein Querſchnitt ſenkrecht auf die Axe leicht hergeſtellt werden kann. Sind durch den Querſchnitt und die beiden Hauptſchnitte die Axen größter, mittlerer und kleinſter Elaſticität gegeben (ſ. S. 139), ſo dreht man das Object um eine horizontale Axe bei diagonaler Stellung des Gypsplättchens zu dem Nicol. Dabei aber muß die Axe mittlerer Elaſticität mit beſagter Drehungsaxe zuſammenfallen. Das Object erſcheint dann zweimal in der Farbe des Geſichtsfeldes und behält dieſe Färbung auch, wenn es um eine ſenkrechte Axe in dieſen Lagen rotirt. Dreht man es aber aus der neutralen Lage um die horizontale Axe erſt nach links, dann nach rechts, ſo muß es in beiden Fällen Addition und dann Subtraction oder Subtraction und dann Addition zeigen.

Dieß wird in den folgenden graphiſchen Darſtellungen erſichtlich. *A A P P* die

zu der Grenze von 0,3 mm Diameter der Beugung bei einer Dicke von 0,25 mm der Membran.

II. Bei mehrfach aus Collodium und Traganth oder Stärkekleiſter geſchichteten dicken Lamellen erſcheinen im gewöhnlichen Lichte Schichten, im polariſirten Lichte aber nur zwei optiſch differente Convolute, welche dem Syſtem der beiden verſchmolzenen Ringe (Intine und Exine) entſpre-

---

Ebenen der Nicols. *a* die Axe der größten Elaſticität, *b* die mittlerer, *c* die Axe kleinſter Elaſticität in dem rotirenden Object. Wir drehen das Object um die mittlere Elaſticitätsaxe, welche horizontal ſteht.

Das Object hat in I diejenige Lage, bei welcher ein Kreisſchnitt in der Ebene des Geſichtsfelds liegt; es iſt dann in der Farbe dieſes gefärbt. Die Elaſticitätsellipſe hat dann, bezogen auf die mikroſkopiſche Axe *Z Z*, welche ſenkrecht zu der Ebene des Geſichtsfeldes *A A' P P'* ſteht, die Lage in II. *b* iſt in II zum Punkt verkürzt, ebenſo die Axe *b b* im Object.

Drehen wir jetzt das Object nach links um, ſo bekommt die wirkſame Ellipſe, bezogen auf *A A P P*, die Lage Fig. III. Das Object erſcheint zuerſt in beſtimmter Lage additionell und bei noch weiterer Drehung von dieſer letzteren Lage (bis um 90° weiter) ſubtractionell. Fig. IV.

Drehen wir hingegen das Object aus den Anfangslagen, Fig. I und II, nach rechts um *b*, ſo wird es zuerſt in eine Lage kommen, in welcher es ſubtractionell erſcheint; bei weiterer Drehung um dieſelbe Axe erſcheint es dann additionell. Hat das Object die zweite neutrale Lage erreicht, ſo wird es, nach links gedreht, zuerſt ſubtractionell und weiter additionell, nach rechts aber, zuerſt additionell, dann ſubtractionell gefärbt erſcheinen.

(Um wie viel Grade gedreht werden muß, iſt von den Winkeln, welche die optiſchen Axen mit den Axen der größten reſp. kleinſten Elaſticität einſchließen, abhängig.)

Iſt nun wieder, wie vorausgeſetzt war, die Lage von *b* bekannt, ſo iſt es auch leicht, aus dieſen Beobachtungen auf die Lage des Elaſticitätsellipſoïdes in dem Object zu ſchließen; möge z. B. die Holzzelle von Pinus mit zwei gekreuzten Streifenſyſtemen in der Membran dienen. Stellen wir zunächſt das Object mit ſeiner mittleren Elaſticitätsaxe *b b* auf die größte Elaſticitätsaxe im Gyps ein.

Steht erſtere querradial, ſo rotiren wir um den Querdurchmeſſer der Wand;

ſteht erſtere tangentialquer, ſo rotiren wir um den Tangentialdurchmeſſer der Wand;

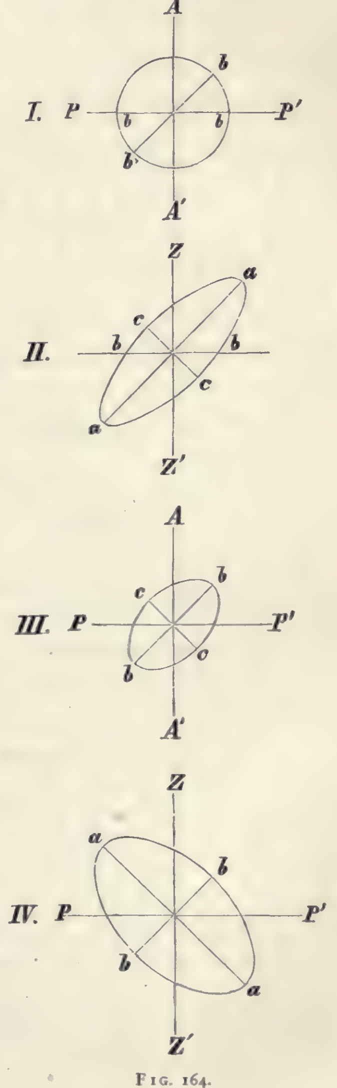


Fig. 164.

chen. Es liegt in dem inneren Ringe, welcher der Glasfläche angrenzt, die große Axe parallel der Schichtung, die kleine senkrecht dazu. In dem äußeren liegen sie umgekehrt. Partielle Quellung zerstört diese Anordnung nicht. Stärkeres Quellen, namentlich in Wasser, macht, daß das System «Intine, Exine» in den einfachen Ring (Intine) übergeht.

III. Nur bei einer Membran ist ein Einfluß der Quellung auf die Elasticitätsaxen merklich gewesen. Es war dieß eine nur aus zwei Schichten bestehende Lamelle, Collodium an der Glasfläche, Stärke außen.

	Collodium innen, Stärke außen.	
	Spannung.	**Elasticitätsaxen.**
I. Zusatz von Wasser bis zur begrenzten Quellung, sodann rasch in warmen Canadabalsam.	innen —	große: innen radial. außen tangential.
	außen +	kleine: außen tangential. innen radial.
II. Zusatz von Alkohol, ebenso in Canadabalsam.	innen +	große: ebenso.
	außen —	kleine: ebenso.
Trocken.	innen — außen +	Trocken: große: außen tangential. innen radial.
III. Canadabalsam auf die trockene Membran.	innen —	große: wie vorher alle Erscheinungen verstärkt.
	außen +	kleine: wie vorher alle Erscheinungen verstärkt.

Geht einer Pflanzenzelle durch Maceration ein Theil der festen Substanz verloren, so bleibt ein Skelet übrig, welches im Allgemeinen mit der Festigkeit seine Anisotropie deßwegen verloren hat, weil jetzt die Kraftcentren der Substanzkerne auf zu große Distanzen vertheilt sind. Rothfaules Eichenholz ist korkartig, weich, plastisch, specifisch leichter, bröckelig, bezogen auf das gesunde, und wirkt äußerst schwach auf das polarisirte Licht. Ich versuchte solches Holz in verdünntem Collodium zu tränken, um zu entscheiden, ob bei dieser Imbibition die besagten Lücken so gefüllt werden, daß die frühere Vertheilung der Spannung wieder hergestellt wird. Das Resultat war ein negatives.

---

steht sie axial, so rotiren wir um die Längsaxe der Zelle.

In dieser Weise läßt sich wohl bei sehr schwachen Vergrößerungen verfahren. Für alle Objecte, welche eine stärkere Vergrößerung beanspruchen, läßt sich bei der Einrichtung des Mikroskopes, wie sie gegenwärtig besteht, diese Methode nicht anwenden, insoweit das Object um eine Axe gedreht werden muß, welche in die Ebene des Objecttisches fällt.

Wir können nunmehr bei der weiteren Betrachtung der Polariſations-erſcheinungen in natürlichen Pflanzenmembranen, ſowie an künſtlichen Membranen, welche aus Celluloſe-Derivaten hergeſtellt wurden, von den folgenden Vorausſetzungen ausgehen:

1⁰ Beim Erſtarren eines iſotropen Colloïdes in einer Ebene entſtehen Membranen, welche nur nach zwei Richtungen verſchieden elaſtiſch, reſp. dicht ſind: die eine Richtung iſt die Ebene der Adhäſion ſelbſt und die Anziehungskräfte in ihr müſſen nach allen Richtungen gleich, die bei ſenkrechter Incidenz des Lichtes wirkſame Elaſticitätsellipſe in ihr muß ſomit ein Kreis ſein; die andere ſteht ſenkrecht zur Ebene der Adhäſion.

Dieſes Element der Membran entſpricht ſomit einem optiſch einaxigen Kryſtall, ſeine Elaſticitätsfläche iſt ein Rotationsellipſoïd, die Richtung ſenkrecht zur Ebene der Adhäſion iſt die optiſche Axe.

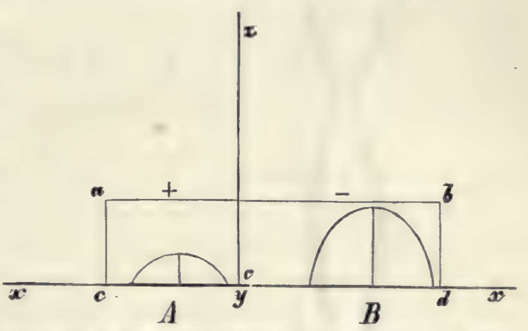


Fig. 165 *A, B.* *A.* 1⁰ Collodium. 2⁰ Stärkekleiſter. 3⁰ Bergkryſtall. 4⁰ Celluloſe Intine. — *B.* 1⁰ Traganth. 2⁰ Kalkſpath. 3⁰ Cuticula Exine.

Es iſt mir (wie aus den Abbildungen Taf. IV, Botan. Unterſuchungen, Verlag von C. Winter in Heidelberg, erhellt) gelungen, zu zeigen, daß die Colloïde ſich beim Erſtarren in einer Ebene je nach ihrer chemiſchen Natur oder derjenigen ihres Löſungsmittels verſchieden verhalten, daß die aus ihnen entſtehenden Membranen (wie die optiſch einaxigen Kryſtalle) optiſch poſitiv oder negativ ſein können. Mögen $x\ y\ z$, Fig. 165, rechtwinkelige Raumcoordinaten bedeuten, $a\ b\ c\ d$ ein Raumelement der Membran, welches in der Ebene $y\ x$ an einer feſten Glaswand erhärtet iſt, ſo iſt leicht einzuſehen, daß, ob ſich die Membranen in der Ebene $x\ y$ ſchrumpfend losreißen von der Glasfläche oder nicht, die Spannung nach allen Richtungen um einen in der Ebene gewählten Punkt C dieſelbe ſein muß.

Die Theilchen der Membran, durch die Verdunſtung des Löſungsmittels beſtrebt, ſich zu nähern, werden in der $x\ y$-Ebene durch die Glaswand eine Zeit lang feſtgehalten, in allen Richtungen parallel der z-Axe aber können ſie ſich gegenſeitig nähern, der Lichtſtrahl, welcher ſenkrecht zur Ebene der Adhäſion die Membran durcheilt, wird nicht zerlegt. In dieſer Richtung verhält ſie ſich wie ein iſotroper Körper.

Geht derſelbe aber in jeder anderen Richtung, ſo muß eine Zerlegung in zwei Strahlen und bei der Uebertragung dieſer auf eine Schwingungsebene ein Interferenzphänomen eintreten.

Einaxig und optiſch poſitiv nennen wir einen Kryſtall, deſſen Elaſticitätsellipſoïd, bezogen auf die z-Axe, mit welcher die Richtung des Strahles parallel geht, die Lage Fig. 165 *A* hat; ſo verhält ſich Bergkryſtall und von unſeren künſtlichen Membranen die in der Ebene erſtarrten, aus Collodium und Stärkekleiſter, ſowie Gelatine.

Einaxig optiſch negativ hingegen nennen wir ein Kryſtallelement, deſſen Elaſticitätsellipſoïd, bezogen auf den mit der z-Axe parallelen Strahl, die Lage *B* Fig. 165 hat; ſo verhält ſich Kalkſpath und von den künſtlichen Membranen diejenige aus Traganthſchleim, welcher in der Ebene erſtarrt.

Die Vorausſetzung, daß die Elaſticitätsellipſe einer erhärtenden Colloïdmembran in der Fläche der Adhäſion ein Kreis ſei, gilt

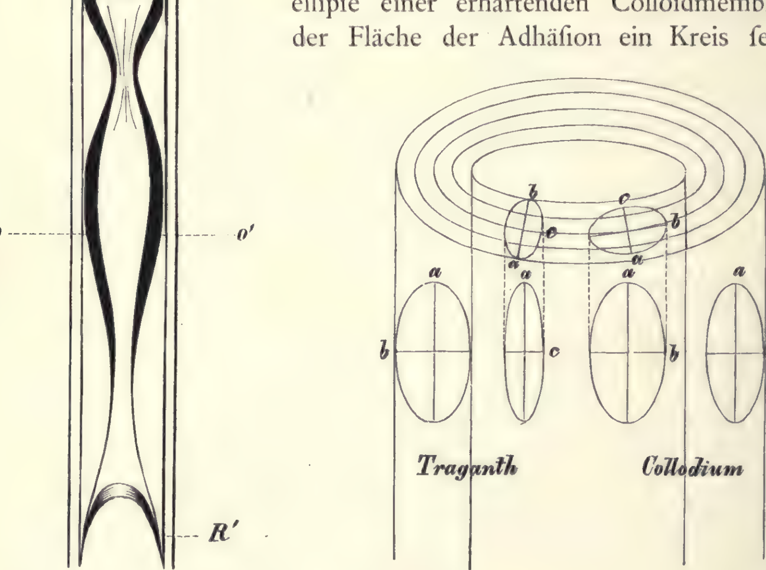


Fig. 166. Optiſch zweiaxiger Cylinder von Collodium, in einer Glasröhre eingeſchloſſen.

Fig. 167.

nur noch für die Kugelfläche, denn offenbar müſſen, gleiche Dicke des erſtarrenden Colloïdes vorausgeſetzt, die Tangentialkräfte, welche ein Theilchen beim Erſtarren afficiren, nach allen Richtungen in der Kugelfläche gleich ſein. Die Radialkräfte müſſen ebenfalls für alle Elemente der Fläche gleich ſein, ſind aber verſchieden von den Tangentialkräften. Wir können daher optiſch poſitive und optiſch negative kugelförmige Membranen erhalten, wenn wir die Membranelemente *A* und *B*, Fig. 165, mit der optiſchen Axe als Radius eine Kugelfläche beſchreiben laſſen, d. h. wenn wir die betreffenden Colloïde in oder über eine Hohlkugel gießen und erſtarren laſſen. Stets müſſen ſolche Kugeln für ein kleines Element in der Richtung des Radius neutral ſein.

Dasfelbe muß, wenn wir von den künftlichen Membranen, welche in der Ebene erftarrten, ausgehen, auch für jede kugelige Membranhülle gelten, welche nicht an einer feften Form anhaftet, fo etwa die von einem Colloïd umfchloffene Luftblafe, welche im Sinne einer Seifenblafe entftanden fein möge. Die TRAUBE'fchen Zellen, die Inulin- und Stärkefphäroïde, wenn fie genau kugelig gewachfen find, werden ebenfalls hierher gehören, während bei den kugeligen Niederfchlägen von kohlenfaurem Kalk, die in der auffälligften Weife die morphotifchen Proceffe der Stärkebildung nachahmen, nicht erwiefen ift, ob nicht die Anordnung der Kryftallmolecule die Urfache des hier betrachteten Phänomens ift.

2⁰ Erftarrt das Colloïd in einer Cylinderfläche, etwa in einer Glascapillare, fo entfteht ein optifch zweiaxiges Membranelement, weil die Theilchen in der Cylinderaxe fich nicht nähern können, während fie in den transverfalen Richtungen des Cylinderquerfchnittes eine Näherung erfahren.

Es kommt fomit zu den vorher (für die Ebene und Kugel) befprochenen Zugkräften eine dritte hinzu, welche nur von der geometrifchen Geftalt der Zelle abhängig ift. Mit Rückficht auf die Geftalt der Pflanzenzelle können wir fagen: optifch zweiaxige Elemente in erftarrenden Colloïdmembranen müffen entftehen in jeder Fläche, welche nach verfchiedenen Richtungen verfchieden gekrümmt ift (Ellipfoïdfläche, Kegel, Cylinder, elliptifcher Kegel u. f. f.).

Legen wir einen dünnen Collodiumcylinder aus der Glascapillare (Fig. 166) horizontal (in Canadabalfam) in's Gefichtsfeld des Polarifationsmikrofkopes über ein Gypsplättchen von Roth I in der diagonalen Stellung, fo erhalten wir, wenn die optifchen Durchfchnitte *o o'* der Cylinderwand mit der großen Axe der Elafticität im Gyps zufammenfallen, Addition. In den Ringquerfchnitten *R R'* erhalten wir Addition in denjenigen Quadranten, welche mit der großen Axe der Elafticität im Gyps zufammenfallen. Endlich in einem Flächenelement der Cylinderwand finden wir die große Axe der Elafticität parallel der Cylinderaxe. Wir erhalten fomit:

1. Im Ringabfchnitte große Axe der Elafticität tangential, kleine radial, Fig. 167 rechts.

2. Im radialen Längsfchnitt große Axe parallel der Axe, kleine fenkrecht dazu, Fig. 167 rechts.

3. In der Fläche des Cylinders große Axe parallel der Cylinderaxe, kleine fenkrecht dazu, Fig. 167 rechts, und hieraus:

1. Die große Axe der Elafticität parallel der Cylinderaxe.

2. Die kleine fenkrecht zur Cylinderaxe und parallel dem Radius (fenkrecht zur Schichtung).

3. Die mittlere ſenkrecht zur Cylinderaxe und ſenkrecht zum Radius (parallel der Schichtung).

Wir können nun ſtatt Collodium dasjenige Colloïd anwenden, welches, für die Membran in der Ebene bezogen, auf Collodium optiſch entgegengeſetzt ſich verhält: den Traganthſchleim.

Der Cylinder aus Traganthſchleim beſitzt nach derſelben Analyſe, welche wir für den Collodiumcylinder vornahmen, das Elaſticitätsellipſoïd, welches wir in der Fig. 167 links darſtellen:

1. Die große Axe iſt parallel der Cylinderaxe.

2. Die mittlere iſt ſenkrecht zur Cylinderaxe und ſenkrecht zur Schichtung (radial).

3. Die kleine iſt ſenkrecht zur Cylinderaxe und parallel der Schichtung (tangential).

Leicht iſt nun zu erweiſen, daß in den aus Collodium und Traganth oder Stärkekleiſter geſchichteten optiſch zweiaxigen Cylindern durch Aufhebung eines Theiles der Spannung die Doppelbrechung nicht ganz vernichtet wird. Behandelt man den geſchichteten Cylinder mit Alkohol, ſo wird das Collodium gelöſt und es bleibt der Traganthcylinder übrig. Behandelt man mit Waſſer, ſo quillt die Traganthſchicht und es bleibt der Collodiumcylinder übrig. Beide ſo erhaltene Cylinder ſind noch ſtark doppelbrechend.

Es ſtimmen ſomit unſere künſtlichen Membranen auf das Genaueſte mit den natürlichen überein, wenn man von der ſtärkeren Quellung eines Theiles der Colloïde in den künſtlichen Zellen abſieht.

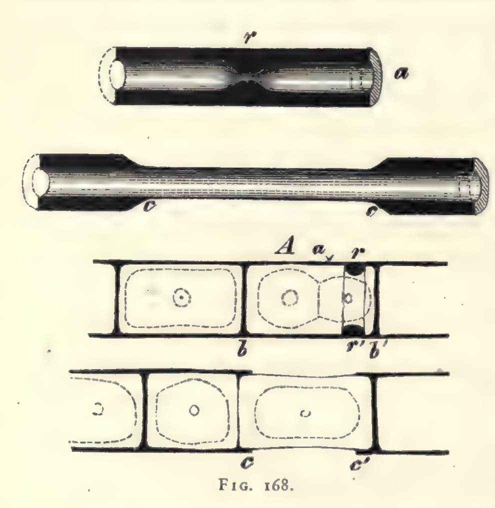


Fig. 168.

Auch in dem Glascylinder in den gewöhnlichen Röhren ſelbſt ſind die Molecularkräfte in demſelben Sinne vertheilt; und von denſelben Betrachtungen ausgehend, welche wir für die in der Ebene und in der Kugel erſtarrende Colloïdmaſſe anſtellten, können wir ſagen: in einer Glashohlkugel, welche geometriſch genau und von gleicher Wandſtärke geblaſen iſt, müſſen die Spannkräfte ſich ſo vertheilen, daß ein Flächenelement optiſch einaxig $\pm$ iſt.

Wir finden in einer Operation der Glasbläſerei den Uebergang zu den Wachsthumserſcheinungen an der lebenden Pflanze und gelangen dadurch zur dritten Vorausſetzung.

3⁰ Um an eine Glasröhre eine dünnere auszuziehen, verfährt man bekanntlich ſo, daß man an der Röhre *a* Fig. 168 in einem Querſchnitt *r* die Glasmaſſe verflüſſigt und zu einem Ring *r* zuſammenfließen läßt. Hierauf zieht man mit beiden ſtarren Enden die flüſſige Maſſe zu dem dünneren Cylinder *c c'* aus. Solche Cylinder werden beim Erſtarren optiſch zweiaxig und zerfallen in zwei Cylinderſchalen, deren große Axe der Elaſticität mit der Cylinderaxe zuſammenfällt, während die kleine und mittlere in dem Querſchnitt des Cylinders und zwar ſo liegen, daß in der äußeren die mittlere radial, die kleine tangential, in der inneren Schale die mittlere tangential, die kleine radial liegt.

So wie durch Zug aus einer flüſſigen Glasmaſſe durch Erſtarren eine neue Cylinderwand entſteht, ſo bietet Œdogonium, eine Süßwaſſeralge, einen ähnlichen Proceß durch einen Druck auf die Zellwände. Die ausgewachſene Zelle *A*, Fig. 168, in der Cylinderkette durch die Wände *b b'* begrenzt, bildet bei *r* einen Ring flüſſiger Celluloſe, reißt bei *a* durch einen Ringſchnitt und zieht den Ring *r* zu dem dünneren Cylinder *c c'* aus.

Offenbar müſſen hier, wenn das Erſtarren vor der Relaxation erfolgt, ſowie beim Glas ſich die Spannkräfte nach dem herrſchenden Zug oder Druck vertheilen.

Wir kommen nun zur vierten Vorausſetzung.

4⁰ Bei der Vertheilung der Spannkräfte in der Pflanzenzelle kommt nicht allein die Adhäſion, ſondern auch die Spannung in Betracht, welche entſteht, wenn die plaſtiſche Maſſe der Wand aus einem Anfangsvolum der Zelle nach einem größeren Volum gezerrt wird. Wir unterſcheiden hier:

a) Die Zelle war zur Zeit ihrer Entſtehung iſodiametriſch und wächſt nach allen Richtungen des Raumes gleichmäßig.

b) Die Zelle war im Anfang iſodiametriſch und wächſt nach einer Richtung vorzugsweiſe (Haare und Faſern).

c) Die Zelle war ſchon im Anfang aniſodiametriſch und wächſt nach allen Richtungen näherungsweiſe gleichmäßig: Holzelemente, welche aus dem Cambium entſtehen.

d) Die Membran iſt in gewiſſem Sinne ein Secret, welches die freie Außenfläche überzieht und mit dieſer gleichmäßig weiter wachſen muß (Cuticula, Cuticularſchichten).

9. Beziehungen zwischen den Quellungsaxen und dem Elasticitätsellipsoïd.

Soweit beſtimmte Meſſungen vorliegen, giebt es Membranen mit drei verſchiedenen Quellungsaxen; dahin gehören zum Beiſpiel die Holzzelle, die Gefäße. In Fig. 169 *A* ſind 100 Theile in der Axenrichtung *a c* mit

einer Zunahme vom trockenen nach dem naſſen Zuſtande von 0.8 %. In *a b* ſind 100 Längeneinheiten aus der Maſſe derſelben Holzzelle in tangentialer Richtung gemeſſen; ſie werden zu 107, wenn ſie naß ſind. Ein ebenſolches quadratiſches Plättchen von 100 Theilen Axenlänge in den Radius der Zellwand gelegt, quillt von *a' b* nach *a' b'* um 23 %.

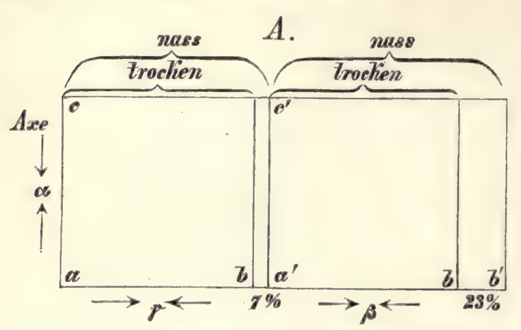


Fig. 169 *A.* Fichtenholzzelle. 100 Theile der Peripherie. 100 Theile des Radius.

Bei der Maſſe der Holz- und Gefäßzellen wirken alſo bei dem umgekehrten Vorgange des Quellens die Kräfte, welche die Volumveränderung herbeiführen, ſo: in Richtung der Axe (die Pfeile α) würde die kleinſte, in Richtung der Pfeile β, in radialer Richtung, die größte Annäherung erfolgen, und endlich in der tangentialen (die Pfeile γ) würde die Compreſſion eine mittlere ſein.

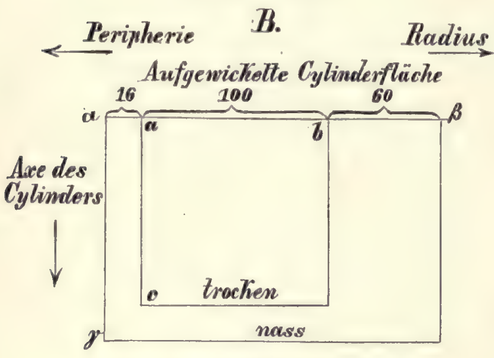


Fig. 169 *B.* Caulerpa-Stammzelle.

Bei der Caulerpaſtammzelle entſpricht dieſelbe Volumverminderung der Compreſſion von α *b* auf *a b* in der Peripherie und in transverſaler Richtung von α β auf *a b* in der radialen Längsrichtung und von α γ auf *a c* in der Längsrichtung. Der letzte Cylinder *C* verdient ein beſonderes Intereſſe. Er beſteht aus erhärtetem Traganthſchleim und wurde in einer Miſchung von Alkohol (50 %) und Waſſer (50 %) zum Quellen gebracht. Man

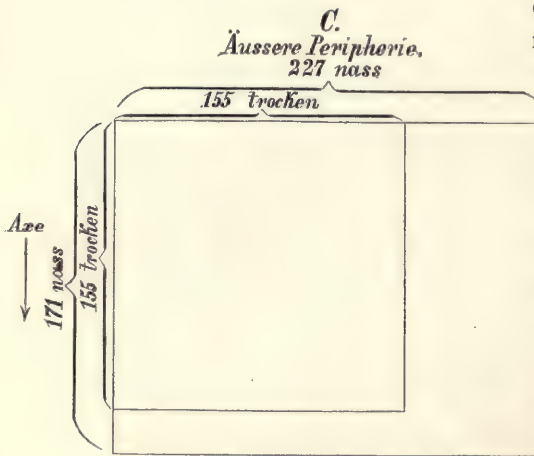


Fig. 169 *C.* Traganthcylinder.

ſieht, daß auch hier, ganz analog der Caulerpa, die Quellung nach den

drei Richtungen ungleich iſt. Nun iſt leicht einzuſehen, daß in der geſtaltloſen Maſſe des Traganthſchleimes die Molecule nach allen Richtungen gleichartig vertheilt waren. Im erhärteten Cylinder aber ſtimmen nicht allein die Quellungsgrößen, ſondern auch die Polariſationserſcheinungen auf das volkommenſte mit denjenigen der Caulerpazelle überein. Es liegt ſomit in dieſem Falle mit Beſtimmtheit das Bedürfniß nicht vor, den Sitz der Doppelbrechung in die Molecule der feſten Subſtanz zu verlegen und dieſen Moleculen kryſtalliniſche Natur zu vindiciren.

Bei den Betrachtungen über dieſen Gegenſtand wolle man beachten, daß alle iſotropen Mittel durch Druck aniſotrop werden. Man wird daher mit den Axen der Quellung reſp. des Schrumpfens beſſer die Ellipſen und Ellipſoïde der Dichte in aniſotropen Kryſtallen der Vergleichung zu Grunde legen. Die Axen dieſer haben den reciproken Werth der Elaſticitätsaxen.

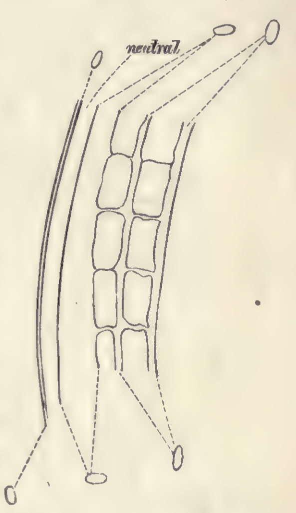


Fig. 170. Ilex aquifolium. Längsſchnitt durch die Epidermis des Zweiges.

10. Allgemeine Folgerungen.

Es iſt aus den Abhandlungen über die Zellbildung gewiß, daß die pflanzliche Membran aus dem Zuſtande einer plaſtiſchen und colloïdalen Maſſe allmälig erhärtet, dabei Zug- und Druckkräften, ſowie den Anziehungen unterliegt, welche in jedem capillar geſpannten Syſtem herrſchen, wie z. B. in der Schaummaſſe der Actinoſphæra, in dem Schaum der Flüſſigkeiten. Um die Doppelbrechung in der ſpäter feſten, elaſtiſchen und quellungsfähigen Membran zu erklären, wird man daher nicht nöthig haben, kryſtalliniſche Subſtanzkerne anzunehmen. Zu erklären aber ſind immer noch einige Phänomene:

1⁰ Die Membran wirkt im naſſen Zuſtande ſchwächer auf das polariſirte Licht, wie im trockenen oder im Canadabalſam (ſ. S. 158).

2⁰ Die Membranen können als optiſch einaxige und optiſch zweiaxige entſtehen. Die Erklärung fließt aus der früheren Schilderung (S. 159).

3⁰ Die ungleiche Quellung nach den drei Richtungen des Raumes erlaubt den Schluß, daß die Maſſe nach den drei Richtungen ungleiche Dichte beſitzt. Daher muß auch die Elaſticitätsfläche ein dreiaxiges Ellipſoïd ſein.

4⁰ Das dreiaxige Ellipſoïd der Elaſticität des Aethers muß für die beiden Lagen der wirkſamen Ellipſe im Querſchnitt der Caulerpa einerſeits, in der Holzzelle andererſeits, gleichſinnig aus dem Axenſyſtem die Quellung erklärt werden können.

5° Die Structur der Aloëepidermis muß aus Phänomenen der Spannung zweier ungleich ſtark quellender Membranplatten erklärt werden können.

Ein Längsdurchſchnitt durch die Epidermis und die Peridermlagen des Zweiges von Ilex aquifolium zeigt die Ellipſe der Dichte in der äußerſten Cuticula ſo orientirt, wie es die Figur zeigt; dann kommt eine dickere homogene Haut (welche wohl der Cuticularſchicht von SCHACHT entſpricht), ſie iſt neutral, und endlich kommt die Schicht, welche der Intine entſpricht. Hier iſt die Ellipſe umgekehrt orientirt, die große Axe ſteht ſenkrecht zur Längsaxe. Die Wände des Binnengewebes, welche an der rechten Seite der Figur 170 liegen, zeigen die Ellipſe ſo orientirt, wie die äußere Haut (Cuticula).

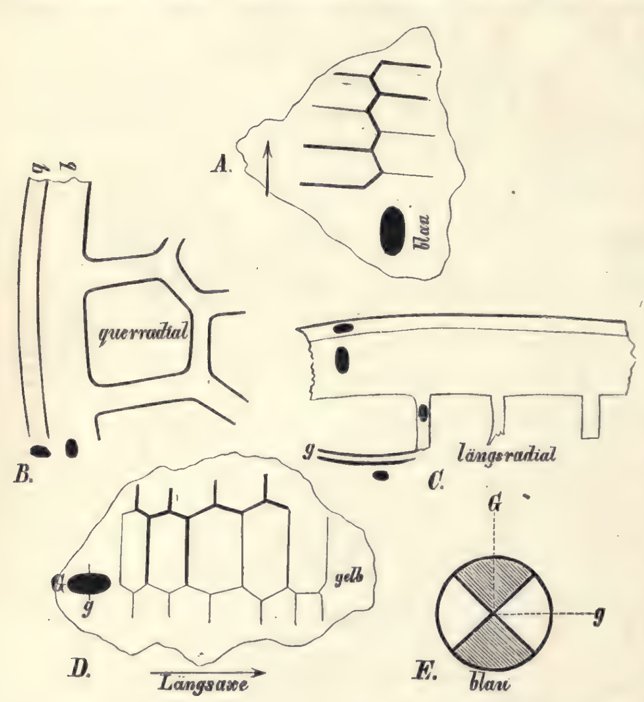


FIG. 171. Ilex aquifolium. Durchſchnitte durch die Epidermis im Zweige im polariſirten Lichte.
A und *D* tangentiale Längsſchnitte. *B* Querſchnitt. *C* radialer Längsſchnitt. *E* Inulinſphäroïd aus der Dahlienknolle im Polariſkop.

Ganz in gleicher Weiſe verfuhr ich mit den übrigen Durchſchnitten, ſtellte dabei aber zuerſt in das durch Sonnenlicht mit dem Helioſtaten beleuchtete Polariſationsmikroſkop die Inulinſphäroïde der Dahliaknolle ein, Figur 171 *E*, verzeichnete an ihnen die Additions- und Subtractionsquadranten, bezogen auf ein Gypsplättchen von Roth der erſten Ordnung.

Betrachten wir zunächſt die tangentialen Schalenſchnitte in Fig. 171 *A* und *D*; in der Lage der Längsaxe *A* iſt der Abſchnitt additionell; in der Lage *D* iſt er ſubtractionell gefärbt. Der transverſale Durchſchnitt zeigt in Fig. 171 *B* die äußerſte Haut (Cuticula), die Dichtigkeitsellipſe radial, in der innern tangential orientirt. Im längsradialen Schnitte, Figur 171 *D*, ſind die beziehentlichen Ellipſen umgekehrt orientirt.

Im Periderm der Weide, welche ich hier noch in Figur 172 analy-

ſiren möchte, iſt *a* die Cuticula, beziehungsweiſe die Cuticularſchicht (SCHACHT's), bis *b* die Epidermis, in *c* die erſten Korkzellen.

Für die äußerſte Schicht ergiebt ſich die Ellipſe der Dichtigkeit für den Querſchnitt ſo orientirt, daß die größere Axe tangential ſteht.

Für den Radiallängsſchnitt ſteht die größere Axe radial, und im tangentialen Längsſchnitt, d. h. in der Fläche, ſteht die größere Axe parallel der Cylinderaxe des Zweiges. Hieraus ergeben ſich drei Ungleichungen für die zwei, beziehentlich drei unbekannten Axen der Dichte, wenn *t* die quertangentiale, *r* die querradiale, *l* die Längsrichtung bedeuten:

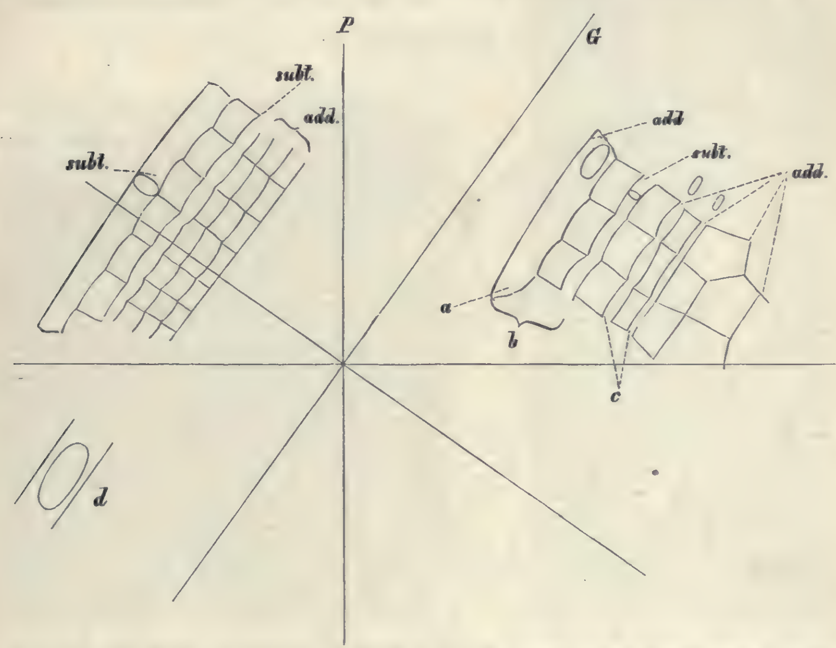


FIG. 172. Salix fragilis. Durchſchnitte des Periderm und der Epidermis im polariſirten Licht. *d* Fläche der Cuticula. Links oben liegt der radiale Längsſchnitt, rechts oben der Querſchnitt.

Querſchnitt . . . . $t > r$,
radialer Längsſchnitt . . . $r > l$.

Nun kann offenbar $t > r > l$ ſein, aber auch $t > l > r$; dieß iſt aber nur möglich, da $l \gtrless r$ ſein ſoll; wenn $l = r$ iſt, dann erhalten wir $t > r$ und das Element entſpricht einem optiſch einaxigen Kryſtalle.

Stellt man nach ganz genauen Beſtimmungen die drei Ebenen zu einem Modell zuſammen, Fig. 173, in welchem die Durchſchnitte ſich in dem Eck ſchneiden, welches dem Beſchauer zugekehrt iſt, ſo iſt die obere Fläche der Querſchnitt, die unter der *y*-Axe liegende die radiale, die unter der *x*-Axe liegende Ebene die tangentiale Flächenanſicht.

Von außen nach innen kommt die Cuticula, es iſt die Platte bei x. Die Ellipſe der Dichte iſt im Querſchnitt tangential orientirt, ſodann kommt die Cuticularſchicht; die Ellipſe $G\,g$ iſt radial orientirt. Es ſind nun noch drei tangential geſtellte Zellhautplatten ſchraffirt dargeſtellt. In der erſten ſteht die Ellipſe der Dichte tangential, in den beiden folgenden ſteht ſie radial; dieſe letzteren ſind die erſten Korkzellen.

§ 18. Bestimmungen der verschiedenen Lichtbrechung in Flüssigkeiten.

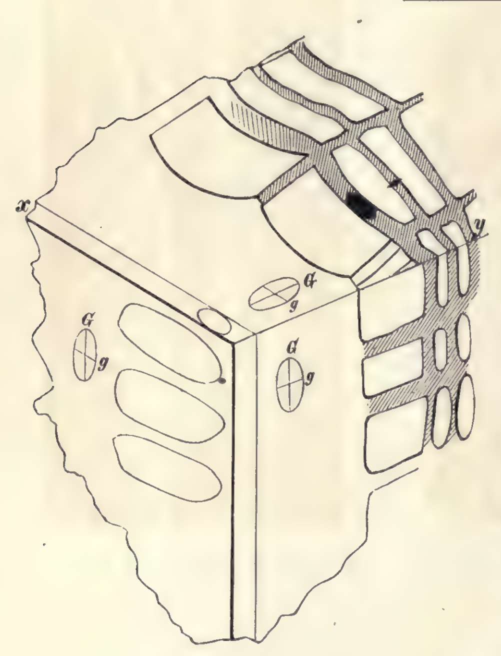


Fig. 173. Salix fragilis. Schema des Periderm aus drei Durchſchnitten.
Nach der Natur gezeichnet und zuſammengeſtellt.

Ein Theil, ja der größte Theil mikroſkopiſcher Wahrnehmung iſt darin begründet, daß das Mikroſkop uns grobe Lichtbrechungsunterſchiede in klaren, durchſichtigen, glashellen Membranlamellen oder capillaren Flüſſigkeitsräumen zeigt. Feinere Brechungsunterſchiede, wie es theoretiſch gefordert iſt, wahrzunehmen, entgeht uns, wenn nicht eine von Töpler vor einigen Jahren vorgeſchlagene Einrichtung mit dem Mikroſkop verbunden wird. Töpler[1]) nennt dieſe Einrichtung den Schlierenapparat. Eine Schliere iſt ein unregelmäßig umſchriebener Ort in einer iſotropen Glasmaſſe, an welchem die Dichte der Maſſe von der Umgebung um ein Weniges abweicht.

Die optiſche Beobachtungsmethode, Schlierenmethode, welche Töpler erfunden, beziehungsweiſe verbeſſert hat, beruht in folgenden phyſikaliſchen Principien: Die Lichtſtrahlen, welche durch Luft, allgemein durch ein gleich dichtes Medium gehen, werden in den Linſenſyſtemen eines Fernrohrs in

[1]) Töpler, Beobachtungen nach einer neuen optiſchen Methode.

einem Punkt, dem Brennpunkt der regulären Strahlen, vereinigt. Die Strahlen aber, welche auf ihrem Wege durch ſtärker oder ſchwächer lichtbrechende Orte in einem durchſichtigen Medium gehen, werden, wenn ſchon nur um eine ganz geringe Diſtanz, vor oder hinter jenem Brennpunkt vereinigt. Es entſtehen ſomit viele Brennpunkte, welche in der optiſchen Axe eines Fernrohres oder Mikroſkops hintereinander gereiht ſind. Freilich wird die Intenſität des Lichtes in denſelben, gegenüber dem Strahlenbüſchel, welches in ſeiner Geſammtheit das Fernrohr oder Mikroſkop durcheilt, ſehr klein ſein. Schaltet man nun, wie Töpler vorgeſchlagen, einen Schieber an dem Orte ein, wo ſich die regulären Strahlen vereinigen, ſo kann bewirkt werden, daß das

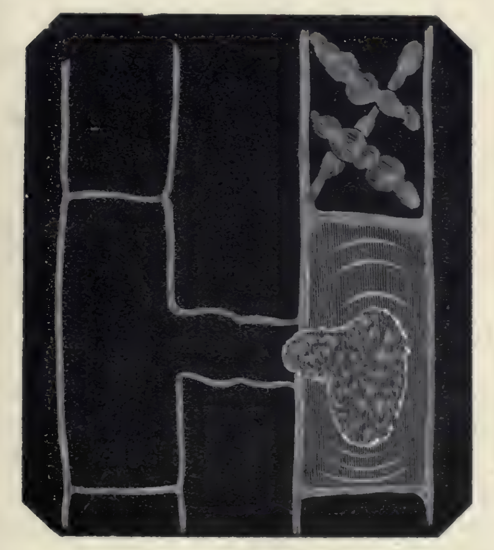


Fig. 174. Copulirende Spirogyrenzellen.

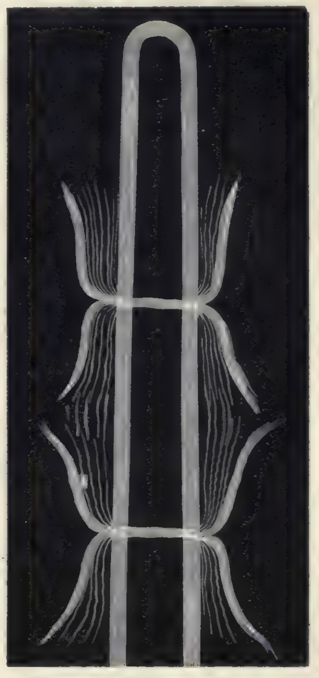


Fig 175. Diphyscium foliosum. Die Paraphyſen der Fig. 181 im Schlierenmikroſkop betrachtet.

Strahlenbüſchel, welches das Geſichtsfeld erhellt, in ſeinem Brennpunkt abgeblendet wird, während die ſtärker oder ſchwächer gebrochenen in einem der zahlreichen Brennpunkte an dem Rande des Schiebers vorbeigehen.

Es erſcheint dann das Bild der ſtärker brechenden Parthieen des Körpers auf dunklem Geſichtsfeld. Töpler konnte eine Menge der prächtigſten Beobachtungen machen. Er konnte mit ſeiner Methode die Ströme der Luft, welche ſich um Flammen und erwärmte Körper bilden, die Strömung der Kohlenſäure bei dem Uebergießen dieſes Gaſes aus einem damit gefüllten Gefäß in ein luftgefülltes Gefäß beobachten. Selbſt die Compreſſionen der Luft beim Durchgang der Schallwellen konnten zur Wahrnehmung gebracht werden.

Für die Pflanzenphysiologie scheint mir die Methode bedeutungsvoll. Die Strömungen um die Pflanze, die Beobachtungen über Dichtigkeitsverhältnisse an der Grenzschicht des Plasma bei den Strömungen desselben, die Theilungs- und Wachsthumsvorgänge der Zelle könnten mit ihr vielleicht besser wie zuvor belangt werden.

Mit Hülfe der immerhin noch rohen Einrichtung erkennt man in den copulirenden Spirogyrenzellen, daß die Wanderung der Protoplasmamasse aus der Zelle I nach der Zelle II in der Folge oder mindestens gleichzeitig mit einer partialen Quellung der Membran erfolgt. Auch die quellenden Schichten in den Paraphysen von Diphyscium foliosum, Fig. 175, werden erkannt. Bis jetzt ist die Methode noch nicht weit genug für die mikroskopische Beobachtung gefördert.

Vierte Abtheilung: Flächenwachsthum der Membranen. Streckung der Pflanzenorgane[1]).

§ 19. Umgrenzung des Gegenstands.

Es wurde oben angezeigt, daß die Disposition über Dickenwachsthum und Flächenzunahme der Zellen und Organe eine künstliche ist, welche lediglich aus praktischen Rücksichten vorgenommen wurde. Beschäftigen wir uns nun mit der Volumzunahme von Zellen und Zellencomplexen, und möge an die Spitze der Discussion dieser Satz gestellt werden:

Das Wachsen ist eine allmälige Auslösung innerer (in der Zelle oder dem Zellencomplex) angehäufter Spannkräfte:

1⁰ osmotische Spannung wird verbraucht, das Volum der Zelle nimmt zu durch Wasseraufnahme;

2⁰ ihrer chemischen Natur nach verschiedene Körper gehen in einen

[1]) Hales, *vegetable statics. 3d edit. London 1738. vol. I.* S. 344 giebt schon einige Methoden an, den Zuwachs an Pflanzen zu bestimmen. — Dr. N. J. C. Müller, Untersuchungen über einige Wachsthumserscheinungen. Bot. Ztg. 70. 793. 830. 852. — E. Askenasy, Ueber den Einfluß des Wachsthumsmediums auf die Gestalt der Pflanzen. Bot. Ztg. 70. 193. 209. 225. — Dr. N. J. C. Müller, Ueber die Anwendung des Bildmikroskops. Bot. Ztg. 71. 890. Die Wachsthumserscheinungen der Wurzel. Bot. Ztg. 71. 693. 709. 725. — J. Reinke, Unters. über Wachsthum. Bot. Ztg. 76. 65.

ftabilen Zuftand über, indem fie als fefte Membranen niedergefchlagen werden: Zucker, Stärke, Inulin u. a. m.;

3⁰ geftaltliche Keimkräfte werden nur verbraucht, indem Zellen und Zellencomplexe von einem kleinen Volum zu einem größeren von beftimmter und je für verfchiedene Zellen und Zellencomplexe verfchiedener Form übergehen. Die Wiederholung diefes Vorganges aber wird nach der einmaligen Evolution unmöglich, fowie die zweimalige Keimung aus einer Eizelle.

Die phyfiologifche Bedeutung der Gewebe läßt fich hieraus mit Leichtigkeit überfchauen:

Da alle Verjüngungen, an der dauernden Pflanze fowohl, wie in vielen Generationen, nur Zelltheilungsvorgänge find, in welchen fich viele Zellengenerationen organ- oder individuumbildend hintereinanderreihen, fo unterfcheidet man wohl:

1⁰ Zellen oder Gewebe, in welchen nur einmal die drei Wirkungen fich auslöfen: Dauergewebe;

2⁰ ebenfolche, welche für das ganze Leben der Pflanze folche Wirkungen dauernd zur Geltung bringen: Cambium, Merifteme der Knofpen;

3⁰ ebenfolche, welche von Generation zu Generation durch ungemeffene Zeiträume, als Derivate der beiden erften, die organifche Formentwicklung vermitteln: Propagationszellen: Sporen, Eizellen, Brutzellen oder Gewebe.

Ein Theil der anatomifch hiftiologifchen Studien ift fchon in den früheren Abfchnitten über Zelltheilung abgehandelt, ein Theil wird in der groben Anatomie und endlich in der allgemeinen Morphologie zum Vortrag kommen.

---

§ 20. Räumliche Orientirung[1]).

In dem Heerd der Zellenbildung, an den Vegetationspunkten, an der Spitze der Zweige und Blätter werden für einen gegebenen kleinen Zeitraum zwei abgefteckte Marken nur eine außerordentlich kleine Verfchiebung durch den Zuwachs erfahren. (Man fehe Figur 176.)

Die Wachsthumsvorgänge rückwärts der Spitze bewirken, daß diefe ftetig, bezogen auf den erften ausgewachfenen Ort, fortgefchoben wird. So wachfen faft alle Pflanzenorgane.

---

[1]) Haben Temperaturfchwankungen als folche einen ungünftigen Einfluß auf das Wachsthum? Von Dr. R. PEDERSEN. JUL. SACHS, Arb. d. bot. Inftit. in Würzburg. Leipzig 1874. Engelmann's Verlag.

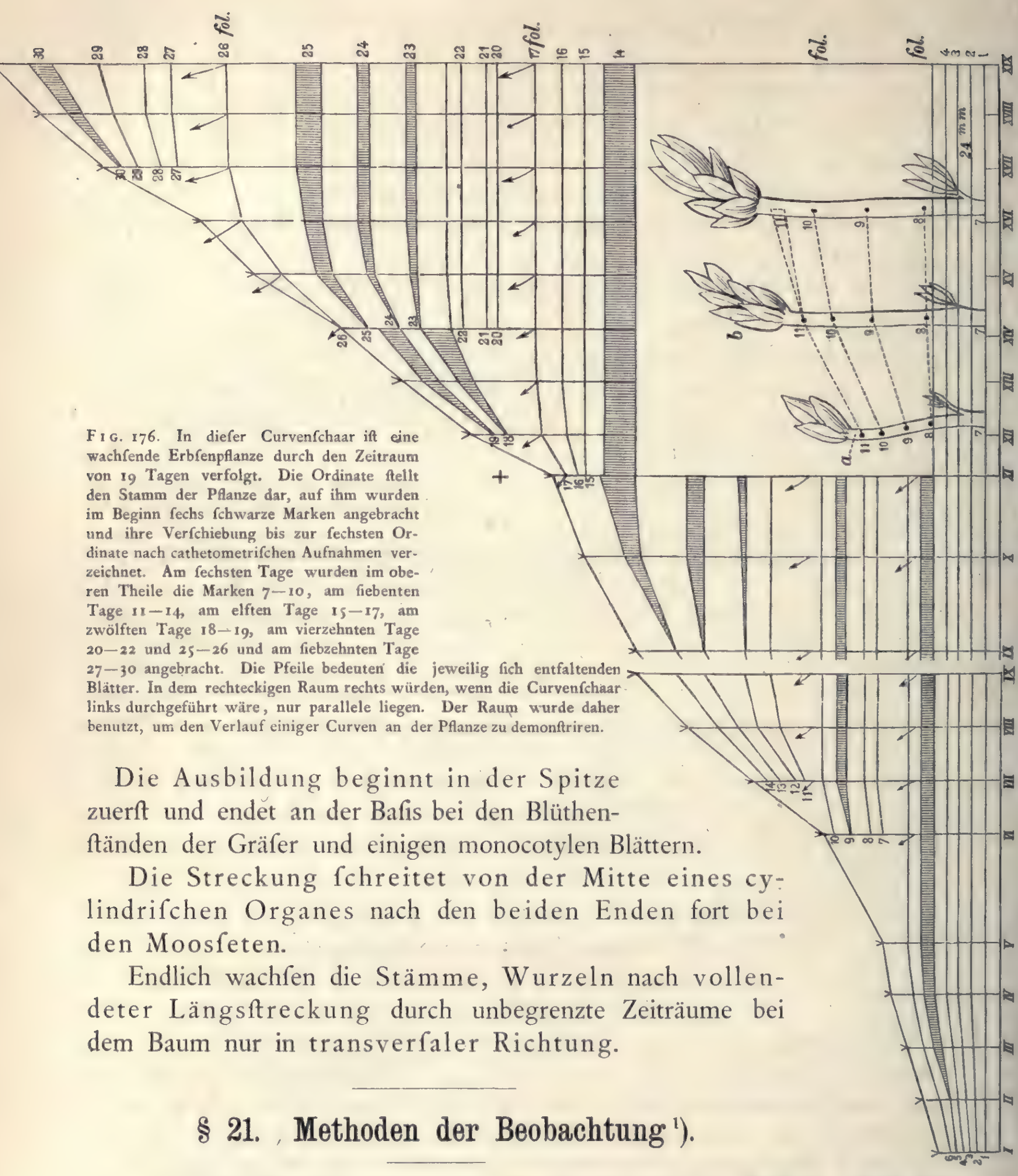


Fig. 176. In dieſer Curvenſchaar iſt eine wachſende Erbſenpflanze durch den Zeitraum von 19 Tagen verfolgt. Die Ordinate ſtellt den Stamm der Pflanze dar, auf ihm wurden im Beginn ſechs ſchwarze Marken angebracht und ihre Verſchiebung bis zur ſechsten Ordinate nach cathetometriſchen Aufnahmen verzeichnet. Am ſechsten Tage wurden im oberen Theile die Marken 7—10, am ſiebenten Tage 11—14, am elften Tage 15—17, am zwölften Tage 18—19, am vierzehnten Tage 20—22 und 25—26 und am ſiebzehnten Tage 27—30 angebracht. Die Pfeile bedeuten die jeweilig ſich entfaltenden Blätter. In dem rechteckigen Raum rechts würden, wenn die Curvenſchaar links durchgeführt wäre, nur parallele liegen. Der Raum wurde daher benutzt, um den Verlauf einiger Curven an der Pflanze zu demonſtriren.

Die Ausbildung beginnt in der Spitze zuerſt und endet an der Baſis bei den Blüthenſtänden der Gräſer und einigen monocotylen Blättern.

Die Streckung ſchreitet von der Mitte eines cylindriſchen Organes nach den beiden Enden fort bei den Moosſeten.

Endlich wachſen die Stämme, Wurzeln nach vollendeter Längsſtreckung durch unbegrenzte Zeiträume bei dem Baum nur in transverſaler Richtung.

§ 21. Methoden der Beobachtung[1]).

1⁰ Um Wachsthumsvorgänge im Allgemeinen zu ſtudiren, wird das Mikroſkop Manches lehren können. Durch die vergleichende Unterſuchung desſelben Gewebes in verſchiedener Entwickelungsphaſe (ſ. A.) bilden wir

[1]) Von einem Ungenannten: Die Milchſaftgefäße, ihre Entwickelung. 833. 49. 65. Bot. Ztg. 46. — Dr. A. Schacht, Die ſogenannten Milchſaftgefäße der Euphorbiaceen

uns die Kette von Vorſtellungen, welche wir die Entwickelungsgeſchichte des betreffenden Gewebes nennen.

2⁰ Die Wägung und die Volumbeſtimmung ergeben die Wachsthumscurve als Function der Zeit. Trägt man das Gewicht oder das Volum oder die Länge je als Ordinaten auf eine Abſciſſenaxe, welche die Zeit bedeutet, ſo erhält man durch Verbindung der Ordinaten drei Curven, welche als Wachsthumscurven bezeichnet ſein mögen. Sie zeigen die geſetzmäßige Entwickelung in der Zeit und zwar kommt jeder derſelben, wie ſelbſtredend, eine beſondere Bedeutung zu.

3⁰ Wägung, Volumbeſtimmung der Zunahme von einem nach dem zweiten, von dem zweiten nach dem dritten Zeitpunkt ergeben den Zuwachs, welcher, wie unter 2⁰ als Function der Zeit, als Zuwachscurve dargeſtellt werden kann.



Fig. 177 *A. B. C.* (Nach Rees, Bot. Ztg. 1868, S. 1. Zur Kritik der Böhm'ſchen Anſicht u. ſ. f.) Cucurbita. *A*, *B* Thyllen, welche ſoeben aus dem Holzparenchym bei *a b* in ein Gefäß wachſen. *C* Thyllenbildung im Eichenholz. Man erkennt die Continuität der Membran der Thylle mit derjenigen der dem Gefäß benachbarten Zellen [1]).

u. ſ. w. und Milchſaft führende, nicht ſelten verzweigte Baſtzellen. 513. Bot. Ztg. 1851. — Schacht, Die Milchſaftgefäße der Carica Papaya, deren Entſtehung, Bau und Verlauf. 1856. Monatsber. d. K. Ac. d. Wiſſenſch. Berlin. — Hanstein, Die Milchſaftgefäße und die verwandten Organe der Rinde. 1864. Berlin. Wiegandt u. Hempel. — A. Vogl, Beiträge zur Kenntniß der Milchſaftorgane der Pflanzen. S. 31. Pringsh. Jahrb. Bd. V. 1866—1867. — Dr. A. Vogl, Phyſiologiſche Beiträge. 1. Ueber Milchſaftgefäße in der Klette. 193. — Ueber den Einfluß der Lufttemperatur und des Tageslichtes auf die ſtündlichen und täglichen Aenderungen des Längenwachsthums — Streckung der Internodien. Jul. Sachs, Arb. d. bot. Inſt. in Würzburg. Heft 2. Leipzig 1872. Engelmann.

[1]) Von einem Ungenannten: Unterſuchungen über die zellenartigen Ausfüllungen der Gefäße. Bot. Ztg. 45. 241. — Dr. R. Rees, Zur Kritik der Böhm'ſchen Ueberſicht über die Entwickelungsgeſchichte und Function der Thyllen. Bot. Ztg. 68. 1.

A. Allgemeine Beobachtungen.

(Thyllen, verzweigte Baſtfaſern und Milchſaftgefäße, Diphyscium-Paraphyſen.)

Bei der Robinie, der Eiche, der Buche, bei dem Weinſtock, bei Phytolacca und wenigen anderen wurden im fertigen Holzkörper lange nach beendigtem Dickenwachsthum der Membranen blaſige Zellhautwucherungen beobachtet, welche von ganz kleinen, an die Poren der Gefäße grenzenden Zellhautflächen der Markſtrahlen (wohl allgemein der leitungsfähigen Zellen mit Berückſichtigung der Phytolacca) durch die Poren der Gefäße getrieben werden, Fig. 177 *A*, dort ſich gegenſeitig abplatten, Fig. 177 *C*, und endlich als ein Pſeudoparenchym das Lumen der befallenen Zelle ausfüllen.

Nach vergleichenden Beobachtungen über den Einfluß von Bohrwunden und Aſtabſchnitten, welche ich auszu-

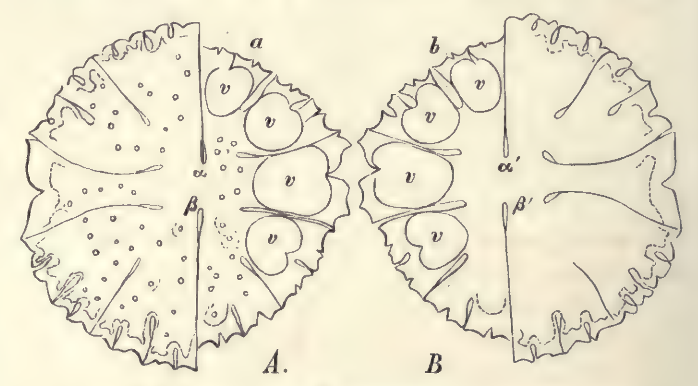


Fig. 179. Micrasterias rotata. Entſtehung zweier Individuen aus einem.

führen Gelegenheit hatte, erſtreckt ſich dieſer Vorgang nach den im Sommer des laufenden Jahres vorgenommenen Verwundungen ſelbſt auf den Jahrring des vorhergehenden Jahres, ſo bei der Eiche und der Buche.

Auffällige Erſcheinungen des Flächenwachsthums kommen noch vor:

a) in den Embryoſäcken in den Keimbläschen der Phanerogamen, ſo wachſen z. B. Fig. 178 die Keimbläschen der Bartonia weit aus dem Embryoſack heraus in die Mikropyle. Aehnliches kommt bei der Calendula (nach den Unterſuchungen Tulasne's) vor.

Fig. 178. Embryoſack mit zwei aus dem Scheitel desſelben hervorwachſenden Keimbläschen.

b) Die Zygnemaceen Micrasterias, Fig. 179, auch Cosmarium, wachſen ſo, daß an dem Orte, wo die beiden gleichen Zellhälften zuſammenhängen, zwei Ausſtülpungen getrieben werden, nachdem die Theilung im Protoplasma

der Zelle erfolgt ist. Jede Hälfte differenzirt sich sofort in die zierlichen und dichotomischen Zweige, die neu entstandenen Hälften wachsen, bis sie die entsprechende Größe erhalten haben, um *a* und *b* je für sich so zu ergänzen, daß die Configuration des ursprünglichen Individuums hergestellt wird.

c) Die verzweigten Bastzellen der Monstera und mehrerer anderer Monocotyledonen waren ursprünglich einfache cylindrische Zellen. Durch nachträgliches Flächenwachsthum treiben sie von begrenzten Kreisflächen der Zellwand aus Zweige, welche die Nachbarzellen auflockern. Die Zweige verlaufen in den Intercellularräumen, Fig. 180. Dieser Vorgang vollzieht sich sehr wahrscheinlich nur, während die hier in Frage kommenden Ge-



Fig. 180. Tornelia fragrans. Verzweigte Bastfaser, in *a* zwischen zwei Parenchymzellen wachsend.

webeparthieen noch durch Wachsthum in der Auflockerung begriffen sind.

d) Die Paraphysen des Diphyscium foliosum sind im Anlagezustand cylindrische Zellenfäden. Durch intercalares Flächenwachsthum zerreißt nach der Differenzirung zweier Zellhautplatten die äußere, die innere wächst. Der äußere Hohlcylinder wird in Form zweier zu jeder Zelle gehörigen Kappen abgegliedert. Die Oeffnungen der beiden Kappen entsprechen der kreisförmigen Rißsteile des äußeren Membrancylinders, Fig. 181.

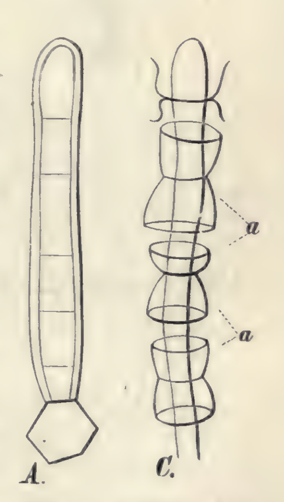


Fig. 181. Diphyscium foliosum. Zwei Zustände einer Paraphyse: *A* wächst und zerklüftet die Wand in 2 Schalen, die äußere wird durch quellende Mittelschichten in *a a* in *C* aufgetrieben und reißt. In *C* sind die Reste der äußeren Haut als tutenförmige Hüllen sichtbar.

In ähnlichem Sinne, wenn schon nicht so auffällig wie bei den verzweigten Bastzellen, müssen Verschiebungen in der gemeinsamen Lamelle bei dem complexen Gewebe wie Holz und Rinde unserer Bäume statthaben. Da sie aus einem Gewebe entspringen, muß nämlich die Anfangslänge der Bast- und Holzzellen nahezu gleich sein. Ihre Länge im ausgewachsenen Zustande aber ist sehr verschieden.

Dieß ist gleichfalls nur so zu denken nach den

Erfahrungen, welche den Hiſtiologen zur Verfügung ſtehen, daß jene primäre Membran urſprünglich aus zwei differenten Niederſchlagslamellen zuſammengeſetzt wurde, welche ſelbſtſtändig zu wachſen vermögen, ſo daß zwei im gleichen Niveau liegende feſte Punkte, der eine zu dieſer, der andere zur Nachbarzelle gehörig, an einander vorbeigleiten[1]).

B. Verdrängung bestimmter Zellen durch das Heranwachsen anderer.

In heterogenen Geweben wachſen beſtimmte Zellen ſo ſtark in die Fläche, daß ſie ihre Nachbarn beeinträchtigen, ſo die Gefäße und Tracheïden des Holzkörpers. Urſprünglich waren dieſe von gleicher Größe; ſo lange das Gefäßbündel, beziehentlich der ſecundäre Zuwachs, ſich im cambialen Zuſtande befand. Mit der Volumvermehrung der in Frage kommenden Zellen müſſen die Nachbarn entweder collabiren oder doch im Volum auf ein Minimum beſchränkt werden. Hierbei werden die Nachbarzellen nach den Unterſuchungen Velten's durch das heranwachſende Gefäß in ihrer gemeinſamen Membran ſo aufgeriſſen, als wenn dieſe in zwei Lamellen geſpalten würde, und mehr oder weniger, ſo lange ſie noch im plaſtiſchen Zuſtande befindlich, zu ſtructurloſen Maſſen zuſammengepreßt, Fig. 182.

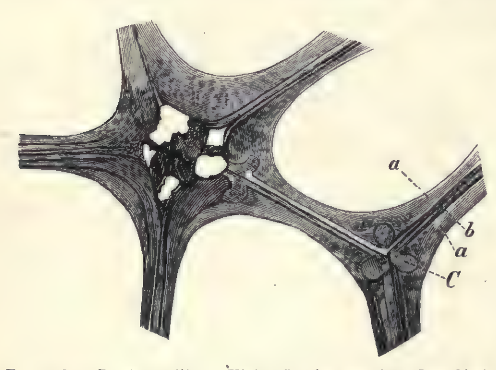


Fig. 182. Pteris aquilina. Kleine Parthie aus dem Querſchnitt des Gefäßbündels des Stammes. Die Membran erſcheint in drei Schichten *a a* und *b*, die ſogenannte primäre Membran differenzirt. In dem Vereinigungspunkt dreier Zellen liegen drei eigenthümliche, ſtark lichtbrechende Maſſen *C* in der Zellwand eingeſchloſſen, die Reſte der durch die Gefäßzellen bei ihrem Heranwachſen comprimirten Nachbarn.

C. Bestimmung der Wachsthumscurve durch Scalirung der Pflanzentheile.

(Partialzuwachs.)

I. Methode (ſ. Figur 176).

Gutes Millimetercoordinatenpapier wird, in Harz getränkt, zwiſchen zwei Glasplatten in Canadabalſam eingekittet, eine oder zwei ſolcher Wände werden in's Loth orientirt und es werden wachſende Pflanzen vor dieſe Platten ſo aufgeſtellt, daß man mit einem geeigneten Cathetometerfernrohr ihre Lage zu den Ordinaten der Glaswände feſthalten und in geeignetes Coordinatenpapier einzeichnen kann.

---

[1]) Dieß muß auch gelten für die erſten Ausſtülpungen der Milchſaftzellen bei Vinca, Scorconera, Euphorbia u. a. m.

Die Längen der ganzen Pflanze für viele hintereinander belegene Zeitpunkte ergeben die Zuwachscurve. Punktirt man rückwärts der Spitze mit ſchwarzer Farbe die Stamm- und Wurzelſtückchen[1]), ſo kann der Zuwachs der einzelnen Abſchnitte und durch geeignete Interpolation die Wachsthumscurve des kleinſten Ortes (Punktes) aufgefunden werden. Fig. 183, 184.

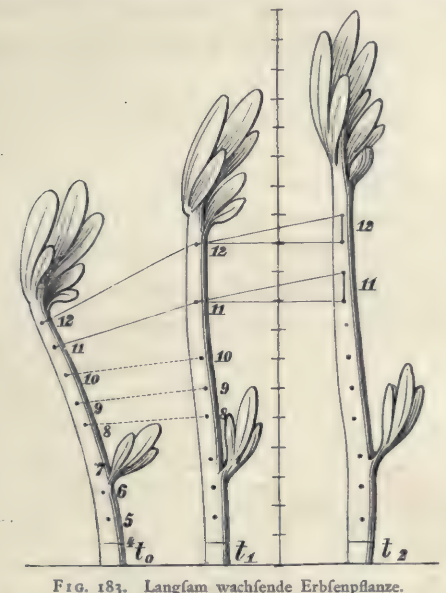


Fig. 183. Langſam wachſende Erbſenpflanze. Zeitintervall 24 Stunden. Temperatur 20⁰.

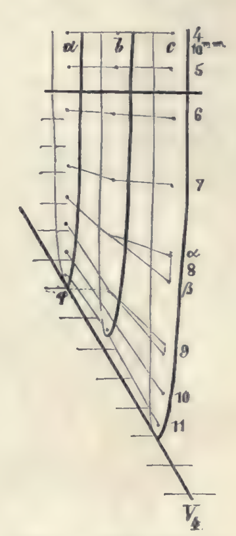


Fig. 184. Raſch wachſende Erbſenwurzel. Zeitintervall 8 Stunden. Temperatur 20⁰.

[1]) Bei wachſenden Wurzeln und Stämmen wird eine kleine ſchwarze Marke, welche zwiſchen der ſichtbaren abſoluten Spitze und dem erſten ausgewachſenen Punkt rückwärts der Spitze angebracht iſt, allmälig in der Weiſe verſchoben, daß ſie ſich dauernd von der Spitze entfernt, von dem ausgewachſenen Punkte aber nur einige Zeit, bis ihre Lage bezogen auf den letzteren conſtant wird. Legen wir den feſten Punkt in die Abſciſſenaxe und tragen wir für verſchiedene aufeinanderfolgende Zeitpunkte die Länge des Abſtandes der Spitze von dem Punkt in der Abſciſſenaxe als Ordinate ein, ſo ſtellt für einen kleinen Zeitraum die Verbindungslinie der Spitzen eine gerade Linie dar, deren allgemeine Formel bekanntlich iſt:

1) $$y = A + Bt.$$

Hierin bedeutet A die anfängliche Diſtanz der Spitze, t die Zeit und B die trigonometriſche Tangente des Winkels, welchen die Gerade mit der Abſciſſenaxe einſchließt. Die Länge der veränderlichen, durch das Wachsthum verſchobenen ſchwarzen Marke hinter der Spitze und über der Abſciſſenaxe, Fig. 183, wird gefunden, wenn wir von dem Werthe y in 1) einen zu dem Zeitpunkt gehörigen Functionswerth λ, Fig. 185, abziehen. Dieſe Länge iſt ebenfalls eine Function der Zeit. Aus dem Verlauf der Curvenſchaaren aber ergiebt ſich, daß ſie nicht eine lineare Function der Zeit ſein kann.

Wählen wir die von Regnault angewandte Formel für die Tenſion des Waſſerdampfes mit wachſender Temperatur und ſetzen

2) $$\lambda = a + b\,\beta,$$

Die Punkte *8, 9,* Fig. 183, beſchreiben flache Curven, welche endlich mit der Abſciſſenaxe parallel gehen. Die Punkte *11, 12* aber ergeben ſteilere Curven. Vom Zeitpunkt t_1 nach t_2 fließt ein ſolcher Farbenpunkt zu einer Linie aus, *11, 12,* Fig. 183. Ganz ähnlich verhält ſich in Figur 184 die Wurzel. Es folgt aus dieſen Beobachtungen mit Zuhilfenahme noch genauerer Meſſungen, wie ſie bei conſtanter Temperatur bei der Erbſenwurzel und mehreren anderen typiſchen Organen angeſtellt wurden, Figur 186: wenn man von der Spitze ab aequidiſtante Marken anbringt und deren Abſtand in einem nicht zu großen Zeitintervall beſtimmt (die Zeitgrenzen müſſen ſo gewählt ſein, daß keines der Cylinderſtückchen darin wirklich auswächſt), ſo beſchreiben die Punkte Curven, welche bei den entfernteſten Punkten flacher, bei den mittleren ſteiler ſind, während die der Spitze zunächſt gelegenen Marken parallel mit der Wachsthumscurve verlaufen oder wenig von dieſer divergiren.

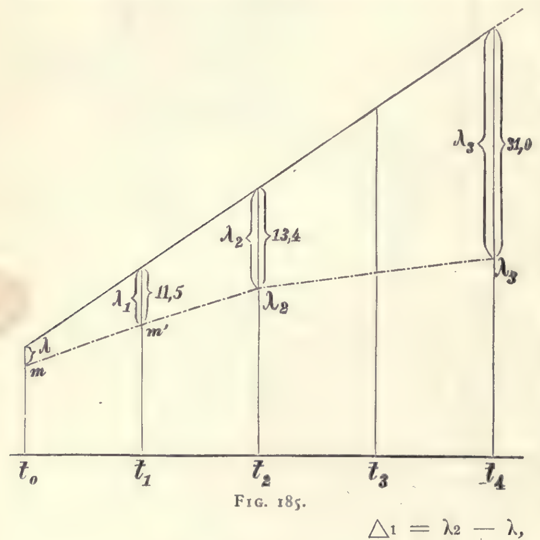


Fig. 185.

worin a der anfängliche Abſtand von der Spitze, b und β Coëfficienten ſind, welche ſich aus der Meſſung durch die Rechnung ergeben. Wir berechnen drei Conſtanten aus den Meſſungen mit Hilfe jener Scale und des Cathetometers, nämlich λ_1, λ_2, λ_3 zu den Zeitpunkten t_0, t_2, t_4 (Fig. 185). Dieſelben ſind beſtimmt durch die drei Gleichungen:

1) $a + b = \lambda_1$,

2) $a + b\beta^2 = \lambda_2$,

3) $a + b\beta^4 = \lambda_3$.

Die Zuwachſe in den Zeitpunkten 2 und 4 werden erhalten, indem wir den je vorhergehenden von dem nachfolgenden Werth für λ abziehen:

$$\triangle_1 = \lambda_2 - \lambda,$$
$$\triangle_2 = \lambda_3 - \lambda_2.$$

Hieraus und aus den drei vorhergehenden Gleichungen wird:

4) $$\triangle_1 = b\,(\beta^2 - 1),$$
$$\triangle_2 = \beta^2 b\,(\beta^2 - 1) \quad \text{und}$$

$$\beta^2 = \frac{\triangle_2}{\triangle_1}, \qquad \beta = \sqrt{\frac{\triangle_2}{\triangle_1}}.$$

Die Formel hat aber nur Geltung, wie leicht einzuſehen, wenn der Totalzuwachs y eine lineare Function der Zeit iſt. Iſt dieſe Curve ſelbſt eine Wellenlinie, ſo iſt die Gleichung y ſelbſt eine periodiſche Function, und wenn auch λ nicht beeinflußt würde, bezogen auf eine Gerade, ſo muß doch ſelbſtredend y erſt bekannt ſein um y' zu finden.

Es möge an einem gegebenen Beiſpiel die vorſtehende Rechnung veranſchaulicht ſein.

Da nun je ein tieferer Punkt die ſpätere Phaſe eines vor ihm belegenen höheren iſt und der Vorgang des Wachſens eine continuirliche Bewegungserſcheinung darſtellt, ſo müſſen alle die Curvenſtücke congruent ſein, welche von Punkten gleicher Anfangsentfernung von der Spitze beſchrieben wurden. Man ſehe Fig. 176 und vergleiche dieſe mit Fig. 189. Es folgt aber weiter aus denſelben Curvenſchaaren, daß der Partialzuwachs von hintereinander belegenen Cylinderſtückchen merklicher Ausdehnung, Fig. 188, verſchieden iſt in dem Sinne, daß er eine beſtimmte Function der Entfernung des Stückchens von der Spitze darſtellt.

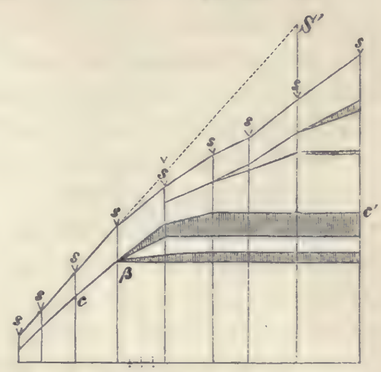


Fig. 186. Erbſenwurzel mit 2 ſchwarzen Marken. Zeitintervall (Einheit der Abſciſſe) 1 Stunde. Die Curve *s s s* die Wachsthumscurve der Spitze.

Für die Zeitpunkte $0.2.4$ wurden gefunden für $\lambda\ \lambda_2\ \lambda_3$ und $\triangle_1\ \triangle_2$:

$$\begin{array}{lll} t_0 & \lambda & 2.5 \\ & & \quad \ldots \triangle_1\ 11.9 = \lambda_2 - \lambda_1 \\ t_2 & \lambda_2 & 13.4 \\ & & \quad \ldots \triangle_2\ 17.6 = \lambda_3 - \lambda_2, \\ t_4 & \lambda_3 & 31.0 \end{array}$$

nach der Gleichung $\lambda = a + b\,\beta^t$ erhalten wir:

$$2.5 = a + b = \lambda_1,$$
$$13.4 = a + b\,\beta^2 = \lambda_2,$$
$$31 = a + b\,\beta^4 = \lambda_3$$

nach $\beta = \sqrt{\frac{\triangle_2}{\triangle_1}}\quad lg\,\beta = lg\,\frac{\triangle_2}{\triangle_1} = 1.216,$

$$b = \frac{\triangle_1}{\frac{\triangle_2}{\triangle} - 1} = 24.84;$$

nach $a = \lambda - b = -22.34$
und ſomit

$$\lambda = a + b\,\beta^t = -22.34 + 24.84 \cdot 1.216^t.$$

Durch Meſſung wurde ferner gefunden der Werth für

$$y = A + Bt.$$

Aus der Gleichung 4) erhalten wir:

$$b = \frac{\triangle_1}{\beta^2 - 1} = \frac{\triangle_1}{\frac{\triangle_2}{\triangle_1} - 1}.$$

Fig. 187. Schema der Curve $\lambda = f(t)$.

Aus 1) aber wird $a = \lambda - b$.
Für λ erhalten wir ſomit:

Nennen wir l_1, l_2, l_3 ..... u. f. f. die Längen, welche gleichlange, durch Marken kenntlich gemachte Cylinderftückchen nach beftimmtem Zeitintervall erlangen, deren Anfangslänge gleich l war, fo find: $l_1 - l$, $l_2 - l$, $l_3 - l$ die Zu-

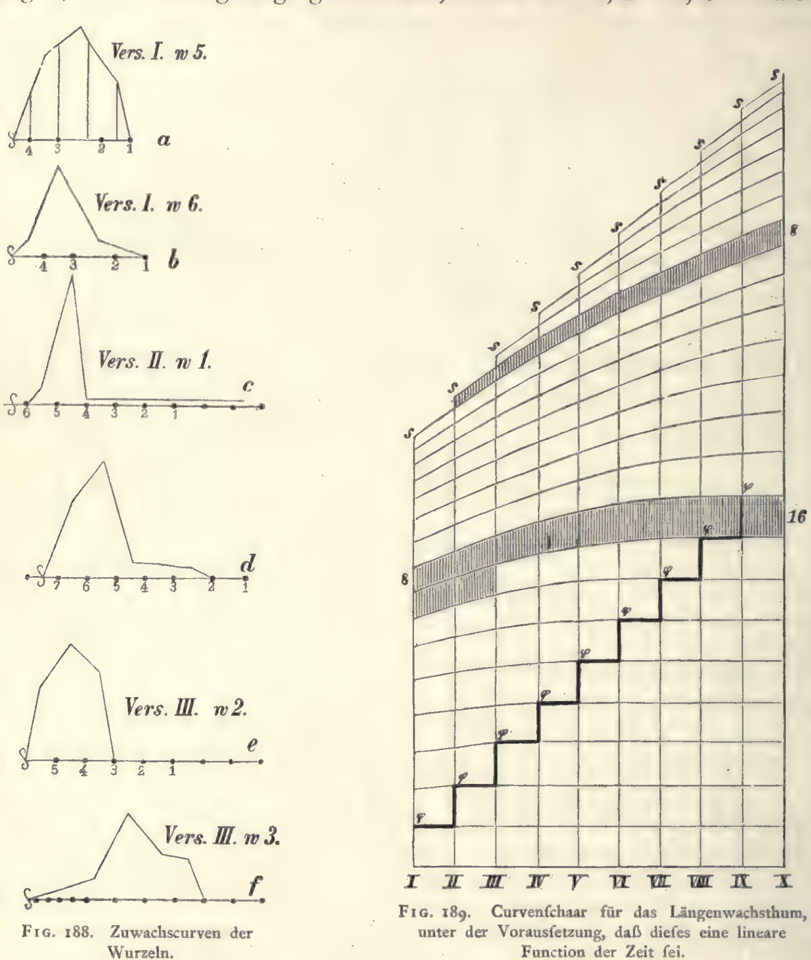


Fig. 188. Zuwachscurven der Wurzeln.

Fig. 189. Curvenfchaar für das Längenwachsthum, unter der Vorausfetzung, daß diefes eine lineare Function der Zeit fei.

$$\lambda = a + \frac{\Delta_1}{\frac{\Delta_2}{\Delta_1} - 1} \left(\sqrt{\frac{\Delta_2}{\Delta_1}} \right).$$

Diefe Gleichung ergiebt die Länge der Marke hinter der Spitze. Nennen wir nun y_1 die Wachsthumsfunction des durch die fchwarze Marke kenntlichen Punktes (Ortes) bezogen auf die Abfciffenaxe, fo müffen wir λ von y der Wachsthumsfunction der Spitze abziehen. Wir erhalten:

$$y_1 = A + tang.\ \varphi\ t - \left[a + \frac{\Delta_1}{\frac{\Delta_2}{\Delta_1} - 1} \left(\sqrt{\frac{\Delta_2}{\Delta_1}} \right)^t \right],$$

wachſe der Stückchen. Trägt man dieſe in eine Abſciſſenaxe, Figur 188, deren Intervalle durch die Länge *l* gemeſſen ſind, ſo ſtellt die Verbindungslinie der Ordinaten die Zuwachſe als Function der Entfernung von der Spitze dar, Fig. 188. Solche Curven können nach der Abſciſſenaxe concav, *a* und *e*, oder convex ſein, *b c f*, Fig. 188. Ein allgemeiner Zug aller iſt dieſer: ſie ſtellen eine periodiſche Function der Entfernung mit abſolutem Maximum und abſolutem Minimum, welches gleich Null iſt, dar, d. h. ein jedes ſichtbare Cylinderſtückchen wächſt zuerſt langſam, dann ſtärker, dann wieder langſamer, bis zuletzt dieſe Bewegung in ihm erliſcht. Die Urſache hiefür liegt darin begründet, daß für endliche Zeitgrenzen in der gleichen Länge an einem näher der Spitze gelegenen Cylinderſtück eine größere Anzahl nach der definitiven Ausdehnung ſtrebender Zellen liegt, wie in jedem tiefer belegenen. Das Schema Fig. 189 mag dieß Verhältniß erläutern. In der ſtark ausgezogenen Treppe φ, Figur 189, iſt dargeſtellt, daß der Zuwachs an ausgewachſenen Zellen einfach proportional der Zeit erfolgt. Auch die Spitze *s* rückt in demſelben Sinne fort. Daher laufen beide Gerade (die Gerade φ und die Gerade *s*) parallel, zwiſchen ihnen aber beſchreiben die Marken, welche die Diſtanzen

---

$$t_0 \quad y = 46.0 \qquad y_1 = A,$$
$$t_4 \quad y = 92.0. \qquad y_2 = A + Bt,$$
$$y_2 - y_1 = Bt,$$
$$B = \frac{y_2 - y_1}{4} = 11.5,$$

ſomit endlich

$$Y_1 = 46.0 + 11.5t - (-22.34 + 24{,}84 \cdot 1{,}216^t)$$
$$= 68.34 + 11{,}5t - 24.84 \cdot 1{,}216^t.$$

Aus allen dieſen Curven iſt es leicht einzuſehen, daß die Zuwachſe der einzelnen kleinſten Cylinderabſchnitte, die ſogenannten partiären Zuwachſe, an einem beſtimmten Punkte hinter der Spitze ein Maximum erreichen. Von Bedeutung ſcheint mir, darauf hinzuweiſen, daß dieſe Eigenſchaft der Stämme und Wurzeln darin begründet iſt, daß ſie aus verſchieden alten Zellen beſtehen. Eine Zelle, welche in der Nähe des Vegetationspunktes liegt, iſt im Minimum der Ausdehnung, ſie wächſt und durchläuft ſtetig mit der Zeit alle die Längen der tiefer belegenen Zellen, bis ſie ausgewachſen iſt. Sie rückt aber während deſſen auch von der Spitze fort, wenn in dem Vegetationspunkt ſtetig neue Zellen angelegt werden. Endlich kommt die betrachtete Zelle an den Ort, wo die ausgewachſenen Zellen liegen. Dieſer Ort hat, bezogen auf die Spitze der Wurzel oder des Stammes, eine conſtante Lage. Das Schema 189 verſinnlicht das Wachſen eines aus 16 Zellen beſtehenden kleinen Cylinderſtückchens unter der Vorausſetzung, daß unter den 16 Zellen die kleinſte eben ihr Wachsthum beginne und daß dieſe, wie alle anderen proportional der erſten Potenz der Zeit wachſe. Die Abſciſſen *I II . . . VIII* bedeuten dann die Zeit und die Figur veranſchaulicht ſomit, wie in je einem Zeitpunkt *I II III . . .* je eine Zelle aus dem Zuſtand geringſter Ausdehnung im Vorrath *s* heraustritt, um allmälig wachſend in den Zuſtand der größten Ausdehnung überzugehen. Der Vorrath der ausgewachſenen Zellen rückt mit der Linie φ φ, alſo mit der Zeit proportional ſo wie die Spitze fort.

der nicht ausgewachſenen Zellen darſtellen, Curven, welche zuletzt parallel der Abſciſſenaxe gehen.

D. Auxanometrische Beobachtungen.

Beſtimmung des Zuwachſes in der Längsrichtung.

Das Princip dieſer Beobachtungsmethode iſt dieſes:

Ein feſter Faden wird mit Hilfe einer Klammer an der Spitze des wachſenden Pflanzentheiles befeſtigt, andererſeits über eine Rolle geführt, an deren Peripherie das Ende befeſtigt iſt. Mit derſelben Rolle ſteht ein Zeiger in Verbindung, welcher ſich dreht, wenn auf die Rolle dasjenige Fadenſtück aufgewickelt wird, welches dem Zuwachs des Pflanzentheiles entſpricht. Der Zeiger beſitzt eine ſehr viel größere Länge wie der Radius der Rolle. Das aufgewickelte Fadenſtück wird demgemäß von dem Zeiger an einer Kreistheilung vergrößert angegeben um $\frac{R}{r}$, wo R die Länge des Radius am Zeiger, r den Radius der Rolle bedeutet.

Ein ſolcher Apparat erlaubt, wenn durch ein Uhrwerk die Rolle ſtetig den Faden aufwickelt, ſo daß der Zeiger ganze Kreisumläufe beſchreiben kann, für lange oder kurze Zeiträume den Zuwachs zu beſtimmen, als Function der Zeit und der wechſelnden äußeren Einflüſſe: Temperatur, Beſtrahlung der äußeren und inneren Zuſtandsänderung in Folge der Ernährung und des Wechſels äußerer Einflüſſe.

---

§ 22. Ergebnisse der Messungen nach den angegebenen Methoden.

(Siehe Figur 176, S. 172.)

A. Bei langlebigen Pflanzen ſtreben die Vermehrungsgewebe dahin, die feſte Zuwachsmaſſe auf ein immer größer werdendes Volum auszubreiten.

B. Bei dem Wachsthum der Zellen und Gewebe iſt eine Veränderung der Configuration durch Verſchiebung der zu zwei Zellen gehörigen Membranlamellen möglich.

C. Bei Pflanzentheilen, deren Heerde der Zellbildung am Ende des Organes liegen, iſt der Partialzuwachs eine periodiſche Function der Zeit.

D. Die Curve des Zuwachſes muß ebenfalls eine periodiſche Function der Zeit ſein.

E. Die Wachsthumscurve der unterſuchten Pflanzen zeigt innerhalb enger Zeitgrenzen ein periodiſches Anſteigen. Die Curve muß der Natur

der Sache gemäß aber immer so beschaffen sein, daß die Zuwachse höchstens Null und nicht negativ werden[1]).

a) Dieß ist darin begründet, daß Nachts die Streckungsintensität steigt, am Tage sinkt. Wahrscheinlich Folge der Drucksteigerung durch langsamen Ausgleich der Wasservertheilung.

b) Jedesmal, wenn an einem gegebenen Stamm neue Zweige, Blätter in die Phase der Streckung gerathen, sinkt die Intensität dieser in der Hauptrichtung merklich.

c) Endlich schwankt diese Intensität in stündlichen Perioden, dieß ist von inneren Zustandsänderungen abhängig, welche bis jetzt nicht näher bekannt sind.

d) Jene periodische Schwankung ist von der Temperatur in dem Sinne abhängig, daß bei einem bestimmten Temperaturminimum allgemein wohl über dem Nullpunkt des Celsiusthermometers die Streckung aufhört (Minimum der Temperatur). Bei einem mittleren Temperaturpunkt erreicht die Zuwachsintensität ihr Maximum (Optimum der Temperatur), und selbstredend muß ein höchster schädlicher Temperaturpunkt existiren, wo die Streckung soeben unterbleibt (Maximum). Innerhalb des Minimums und Maximums wird die Zuwachsfunction (bei constantem Zeitintervall) für eine und dieselbe Pflanze eine continuirliche periodische Function sein, deren absolutes Maximum wie selbstredend im sogenannten Optimum liegt (s. Abschn. Wärme weiter unten § 40—42).

F. Wir haben von äußeren wechselnden Einflüssen im Vorstehenden fast ganz abgesehen, weil die Wachsthumscurve als Function der Zeit und als Function dieser Einflüsse stetem Wechsel äußerer Bedingungen unterliegt und deßwegen kaum übersichtlich wird, und weil ein Moment bei allen diesen Betrachtungen nicht vernachläßigt werden kann, es ist die Phase, in welcher die Pflanze sich im Zeitpunkt der Betrachtung befindet.

Das stolzeste Object, welches in dieser Hinsicht die Discussion herausfordert, ist der Baum, der durch Jahrhunderte, ja mehrere Jahrtausende feste Masse in sich anhäufend, die Kette organischer Bildung selbst dann schließen würde, wenn er selbst nur alle Jahrhundert einmal einen Eisproß von sich abschnürte, wenn er nur in so außergewöhnlich großen Zeitintervallen zur Propagation schritte.

Die allgemeinen Erscheinungen unbegrenzten Wachsthums bei den Bäumen lassen sich zusammenfassen in diesem Sinne: der Keimling wächst im Beginne langsam, sodann rascher. Die Zuwachscurve culminirt und sinkt

---

[1]) Bei einer streng mechanischen Behandlung der Sache müßten freilich minimale den Meßapparaten nicht zugängliche negative Zuwachswerthe, in der Contraction der Gewebe durch Temperaturerniedrigung begründet, berücksichtigt werden.

dann wieder in ſpäteren Lebensaltern des erwachſenen Baumes. Der Zuwachs kann aber ſelbſtredend niemals gleich Null werden, ſondern wird ſich im Allgemeinen aſymptotiſch der Null nähern. Wir haben uns in dieſer Betrachtung einen Baumrieſen gedacht, welcher wie ſo manche Eiche, Linde u. ſ. f. ihre 2 — 3 Jahrhunderte ſtetig Maſſe in ſich anhäufte, wohl auch ſtetig ihre Ausgaben an feſter Maſſe hat. Dieſe Ausgaben mögen, indem von dem Blattfall und Zweigverluſt ganz abgeſehen wird, in dem Athmungsaufwand beſtehen und es möge in dem gedachten Falle jede Erkrankung, jeder grobe Eingriff (Bruch, Verwundung) ausgeſchloſſen ſein. Die aſymptotiſche Zuwachscurve ergiebt ſich dann, namentlich wenn Zeiträume von 1 — 2 Jahrtauſenden wie für das Alter der californiſchen Wellingtonien in die Betrachtung hereingezogen werden, von ſelbſt:

Der in den erſten Jahrzehnten erfolgende raſchere Zuwachs iſt die Folge davon, daß die aufnehmende Fläche des Baumes bei gegebener conſtanter Bodentiefe, Beleuchtung, Temperatur u. ſ. f. ſo wächſt, daß ein günſtigſtes Verhältniß (Optimum) der aufnehmenden Flächen gegenüber den Medien erzielt wird. Dieß möge im erſten Jahrhundert erreicht ſein. Von nun ab erreicht die Krone ihr Optimum, d. h. ſie nutzt Licht und Luft ſo, daß ſie den höchſten Maſſenzuwachs für das ganze Syſtem in gleicher Zeit liefert. Selbſt den günſtigſten Fall geſetzt, dieſe Nutzung wäre für ungemeſſene Zeiträume conſtant (ſie kann nämlich nur noch ſinken), ſo wird doch ein Hinderniß eintreten: die für ein Jahr eingenommene und für alle Jahre conſtante Maſſe wird von der äußerſten Zweig- bis zur äußerſten Wurzelſpitze über immer größere Flächen geleitet und vertheilt. Damit aber muß der ſichtbare Zuwachs des Volumens ſinken. Endlich aber wird die Geſammternährung von dem richtigen Verhältniß des Wurzelkörpers zum Kronenkörper, beziehungsweiſe der Blätterfläche abhängen. Dieſes Verhältniß wird in der Optimumform erreicht ſein, wird aber geſtört, wenn die Krone weiter fortrückt, weil die Bodentiefe begrenzt iſt. Der Wurzelkörper hat ſein Wirkungsareal in der Richtung des Lothes bald erreicht, ausgenutzt und muß in der Ebene Hilfsquellen ſuchen, die nur in weiten Diſtanzen von der Stammaxe noch offen liegen. Die Schwierigkeit wird immer größer mit der Bahnlänge, über welche gleichmäßig wie früher die Maſſe zu vertheilen iſt. Der ſichtbare Volumzuwachs nähert ſich aſymptotiſch der Null. Genau daſſelbe Reſultat ergiebt die Vorausſetzung, das Wirkungsareal des Wurzelkörpers im Boden ſei in der Lothrichtung unbegrenzt (dieß kommt in der Natur nicht vor). Selbſt dann muß ſich der ſichtbare Volumzuwachs aſymptotiſch der Null nähern gerade wie der Thurmbau zu Babel.

---

§ 23. Allgemeine Musterung der Disgregation der Gewebe.[1])

Alle Entwickelung beginnt mit der Bildung kleiner Zellen und endet mit einer Auflockerung der Gewebe. Diefelbe kann erfolgen dadurch, daß alle Zellen des Gewebes von dem kleinften nach dem größten Volum hineilen, f. z. B. im Mark und der Rinde unferer Waldbäume. Sie kann aber auch fo entftehen, daß nur ein kleiner Theil der Zellen ein fehr großes Volum erreicht, während die übrigen eine befchränktere Ausdehnung erlangen, fo in dem Gefäßbündel, wo die Gefäße bevorzugt find. Alle fecundäre Holzbildung endigt mit einer Auflockerung.

Im Anfchluß an die vorhergehende Discuffion muß hier beachtet werden, daß im Baume im Laufe der Jahrzehnte auch die Protene des Holzgewebes fich erweitern und immer größere Holzelemente bilden, die fefte Maffe der Cellulofe wird daher auf immer größeres Volum vertheilt. In einer gegebenen Querfchnittsfcheibe des Baumfchaftes muß daher im unteren Theile des Schaftes die Disgregation größere Unterfchiede zwifchen innen und außen zeigen, wie in höheren Regionen desfelben Baumes. Die fogenannte Kernbildung ift daher immer im Schaft eine andere und im Allgemeinen ift der Kern dichter wie in allen fpäter entftandenen, noch fo mächtigen Aeften.



Fünfte Abtheilung: Folgen des Flächenwachsthums.



Der Uebergang eines Cylinderftückchens aus dem Anfangs- in den Endzuftand, Fig. 176, ift als Auslöfung von Spannkräften aufzufaffen, welche in dem Maß, wie jener Zuftandswechfel fortfchreitet, verbraucht werden. Es wird dadurch die fefte Maffe auf ein größtes Volum gebracht. Die Ge-

[1]) GREGOR KRAUS, Ueber Alter- und Wachsthumsverhältniffe oftgrönländifcher Holzgewächfe 513. — Einige Bemerkungen über die Erfcheinung der Sommer-Dürre unferer Baum- und Strauchblätter 401. 417. — Bot. Ztg. 73. — K. SANIO, Ueber die Größe der Holzzellen bei der gemeinen Kiefer (Pinus silvestris). PRINGSH. Jahrb. Bd. VIII. S. 401. — N. J. C. MÜLLER, Bot. Unters. Bd. I. 3. und 4. Abhandlung.

webe lockern ſich auf, während ſie ſich im anatomiſchen Sinne differenziren. Die weſentlichen ſecundären Erſcheinungen hierbei ſind:

1⁰ es wird während der Streckung durch ungleich raſche Ausdehnung Spannung in den Geweben erregt (§ 24).

2⁰ es entſtehen Intercellularräume, welche im Allgemeinen Luft, im beſonderen Falle Ausſcheidungsprodukte (Secrete) führen (§ 25).

---

§ 24. Gewebespannung[1]).

A. Umgrenzung des Gegenstandes.

Die nebeneinander liegenden Gewebe, Mark, Holz, Rinde, Epidermis wachſen und quellen ungleich ſtark, beſitzen daher in den verſchiedenen Phaſen der Curve, Fig. 176, in Wirklichkeit ungleiche Länge und ungleiche osmotiſche Spannung.

I. Experiment.

Man zerſchneidet einen wachſenden Sproß in der Weiſe, daß eine die Axe aufnehmende Lamelle hergeſtellt wird, welche das Mark, den Holzkörper und die Rinde enthält. Werden dieſe Gewebe-Streifen weiter durch einen Meſſerſchnitt von einander getrennt, ſo tritt inſtantan eine Verlängerung des Markes und des faſerfreien Rindentheiles, eine Verkürzung des Holzes und der Epidermis ein.

Da dieſe Gewebe im unverletzten Zuſtande der Pflanze gleiche Länge beſaßen, ſo müſſen ſie in dieſem Zuſtande geſpannt ſein und zwar ſind comprimirt oder poſitiv geſpannt Mark und das Parenchym der Rinde, negativ geſpannt oder expandirt die primären Holzbündel und die Epidermis.

Die Streifen halten ſich gegenſeitig das Gleichgewicht, so daß für den Cylinder als Grundform der hier in Betracht zu ziehenden Organe die entgegengeſetzten Spannungen in einem gegebenen kleinen Volumelement aufgehoben werden, durch die Spannung in einem gleichgroßen, auf der gegenüberliegenden Seite der Cylinderwand belegenen Streifen.

---

[1]) W. Hofmeister, Ueber die Beugungen ſaftreicher Pflanzentheile nach Erſchütterung. Pringsh. Jahrb. S. 237, Bd. II. 1860. — H. Welker, Notiz über das Ausſpritzen des Saftes beim Zerreißen ſaftiger Pflanzentheile. S. 468. 1860. Pringsh. Jahrb. II. — Dr. Gregor Kraus, Die Gewebeſpannung des Stammes und ihre Folgen. Bot. Ztg. 1867. — A. Millardet, *Licencié-ès-sciences nat. Nouv. Rech. sur la périodicité de la tension.* Strasbourg. E. G. Silbermann 1869. — Nägeli, die Stärke, Zürich, Fr. Schultheß 1858. - N. J. C. Müller, bot. Unters. I. 2. Abhandl.

II. Experiment.

Schneidet man aus jener axilen Lamelle combinirte Streifen aus Mark, Holz *MH* — Holz, Rindenparenchym *HR* — Rindenparenchym, Epidermis *RE*—, so sind von der idealen geometrischen Axe *A* die Streifen so vertheilt:

ER *RH* *HM* — *A* — *MH* *HR* *RE*
—+ +— —+ +— —+ +—

und ihre instantan eintretende Krümmung in Folge der Aufhebung der Cohäsion durch den Schnitt ist diese: *ER* ist convex nach *A*, *RH* ist concav nach *A*, *HM* ist convex nach *A*, für die linke Seite und ebenso entsprechend der Vertheilung des positiven oder negativen Vorzeichens für die Streifen rechts von *A*.

Daß solche Spannkräfte unabhängig von der Wölbung, unabhängig bis zu gewissem Grade der Zerkleinerung von der Continuität der Masse in der Membran bestehen müssen, beweist das Ellipsoïd der Quellung, beweist die verschiedene Quellungsgröße in verschiedenen Medien. Wasser, Alkohol, Harz, Canadabalsam, Glycerin ziehen bei der Imbibition die festen Substanzkerne der Membran in verschiedene Distanzen zusammen, Distanzen, welche eben von der specifischen Anziehungskraft der Substanzkerne zu den genannten Flüssigkeiten abhängen.

An einer und derselben Pflanze selbst kommen in verschiedenen Phasen beide Krümmungen vor. Im Allgemeinen ist die Intine der Epidermis z. B. zuerst der convexe Theil, weil sie die ältere ist, später aber überwiegt die Exine, weil sie die mächtigere geworden ist. So kann es kommen, daß eine Membranplatte ihre Spannung bald in dem einen, bald in dem andern Sinne polarisirt zeigt (Fig. 190).

Im jüngeren Zustande ist die Epidermis der Aloëarten so gespannt, daß *J* positiv, *E* negativ. Im älteren Zustand ist *E* positiv, *J* negativ (Fig. 190).

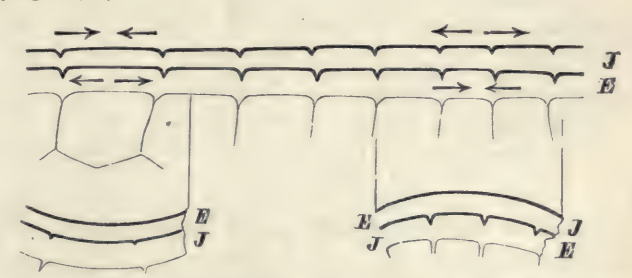


Fig. 190. Spannung in der Epidermis der Aloë: nach Beobachtungen, welche an einer jugendlichen Oberhaut gemacht wurden, sind die Spannungen so vertheilt, wie die links verzeichneten Pfeile angeben. Die Intine ist positiv, die Exine negativ gespannt. Im ausgewachsenen Blatt liegt die Sache umgekehrt.

III. Experiment.

Legt man die isolirten Streifen *M, H, R, E* in Wasser, so verlängern sich die positiven außerordentlich stark, die negativen aber sehr wenig (Fig. 191).

Legt man die combinirten *MH, HR, RE* in Wasser, so wird die Krümmung außerordentlich verstärkt.

Hieraus darf man ſchon ſchließen, daß die Spannung an der lebenden Pflanze ſteten Schwankungen unterliegt. Wächſt die Verdunſtung, ſo ſinkt der Waſſergehalt, damit aber die Geſammtgröße der Spannung, ſinkt die Verdunſtung, ſo wächſt der Waſſergehalt und damit die Spannung.

B. Vergleichung der Spannungscurve mit der Curve des partialen Zuwachses.

Die hintereinander belegenen Cylinderſtücke im Wachsthum begriffener Sproſſe beſitzen außer der vorſtehend abgehandelten Spannung noch eine verſchiedene Quellungsfähigkeit in den poſitiv geſpannten Geweben, welche in dem Maße, wie dieſelben wachſen, verloren geht.

Das größte Maß der Volumzunahme durch nachträgliche Quellung kommt dem jüngſten Abſchnitte, das kleinſte Maß dem ſoeben ausgewachſenen Abſchnitte zu.

IV. Experiment.

Eine Helianthuspflanze wird in 15 gleich lange Glieder zerſchnitten und aus jedem ein centraler Markſtreif genommen, gemeſſen und in Waſſer gelegt. Die Streifen quellen und dehnen ſich in Richtung der Axe beträchtlich aus. In der beifolgenden Tafel bezeichnet die Nummer I das älteſte, die Nummer XV das jüngſte Gliederſtück; in den folgenden Colonnen ſind die Längen zu verſchiedenen Zeiten eingetragen. Man ſieht, daß das Quellen von unten nach oben zunimmt und daß, wenn die Pflanze auf das Volum der ausgequollenen Markſtreifen heranwüchſe, ihre Länge von 750 auf 1094 mm zunehmen würde.

Nummer des Streifens.	Anfangs-länge.	Nach 3 Stunden.	Nach 14 Stunden.	Nach 21 Stunden.
I	50	59	62	62
II	50	57,5	64,5	65
III	50	58,5	68	69
IV	50	59,5	60,5	67,5
V	52	61,2	66	67
VI	51,5	58,2	71	71
VII	53	59	68	70
VIII	53	58,5	68	71
IX	53	61	70	71
X	54	60	67,5	77,5
XI	52	60	71,5	75,5
XII	51	60	72	74
XIII	50	65	79	83
XIV	50	65	79,5	83,5
XV	50	66	80	87
				1094,0 (Anfangslänge 750).

Die Quellungsgröße eines gegebenen unter dieſen 15 Cylinderabſchnitten iſt nicht für alle Zeitpunkte gleich, ſondern zuerſt größer, ſodann kleiner.

Bemißt man die Größe der Gewebeſpannung in dem Unterſchied der Länge vor und nach der Section, oder in dem Unterſchied des kürzeſten und längſten Gewebeſtreifs nach der Section und ſtellt dieſes Maß als Function der Entfernung von der Spitze dar, Fig. 192, ſo erhält man eine Curve, welche die größte Aehnlichkeit mit der partiären Zuwachscurve hat; vergl. Fig. 188.

Es ergiebt ſich hieraus:

Die aus dem Längenunterſchied iſolirter Streifen erſichtliche Gewebeſpannung in der Längsrichtung iſt eine periodiſche Function der Entfernung von der Spitze, gerade wie der partiäre Zuwachs und von dieſem abhängig, ſie erliſcht oder wird ſehr klein, wenn der Zuwachs Null wird. So rückt denn der Ort des Spannungsmaximums ſtetig mit der Spitze fort und bleibt ſtets in beſtimmter Entfernung von dieſer, nach den Auseinanderſetzungen über das Vorrücken des Ortes, wo der partiäre Zuwachs ſein Maximum hat (ſ. oben S. 180).

Endlich aber ergiebt die Vergleichung der Curven Fig. 192 mit den Meſſungen der durch Waſſerzufuhr ausgelöſten Spannkräfte Fig. 191 (und der Tabelle S. 188), daß in der Spitze das abſolute Maximum der Quellung liegt, ganz entſprechend dem unbegrenzten Wachsthum an demſelben Orte.



Fig. 191. Aus zwei gleich langen Cylinderabſchnitten wachſender Sonnenroſenſtämme wurde das Mark herausgeſchnitten, in Waſſer gelegt und nach 3 Stunden *b*, nach 14 Stunden *c*, nach 21 Stunden *d* gemeſſen.

C. Drucke, welche der Expansion das Gleichgewicht halten.

Die Cohäſion der poſitiven und negativen Gewebeſtreifen hält der Spannung in denſelben das Gleichgewicht.

An ihrer Stelle kann durch einen Druck auf die poſitiven und einen Zug auf den negativen Streifen dasſelbe bewirkt, nämlich das Volum des unverletzten Cylinderſtückes erhalten werden. Die Größe dieſer Druck- und Zugkräfte kann experimentell beſtimmt werden.

I. Methode.

Die Druckkräfte, welche nöthig ſind, um die Expanſion durch Waſſeraufnahme eines Markprisma zu verhindern, können mit dem Apparat Fig. 193 annähernd gemeſſen werden.

Aus einem Stengelſtück der Helianthuspflanze von 250 mm Länge, welches möglichst genau in das Cylinderglas *B* paßt, wird durch vier Tangentialſchnitte ein Markprisma iſolirt, deſſen Querſchnitt = 64 Quadratmillimeter iſt. Nach der Section iſt das Prisma gleich lang mit den Rindeholzſtreifen. Die vier Tangentialſchnitte umgeben im Cylinderglas das Markprisma ſo, daß dieſes bei einem ſenkrecht wirkenden Druck nicht ſeitlich ausweichen kann. Auf den oberen Querſchnitt drückt nun der Fuß *C* des Tiſchchens, auf welches ſo viele Gewichte gelegt werden, daß das Markprisma ſich nicht mehr ausdehnt. Das Quellen desſelben tritt ein,

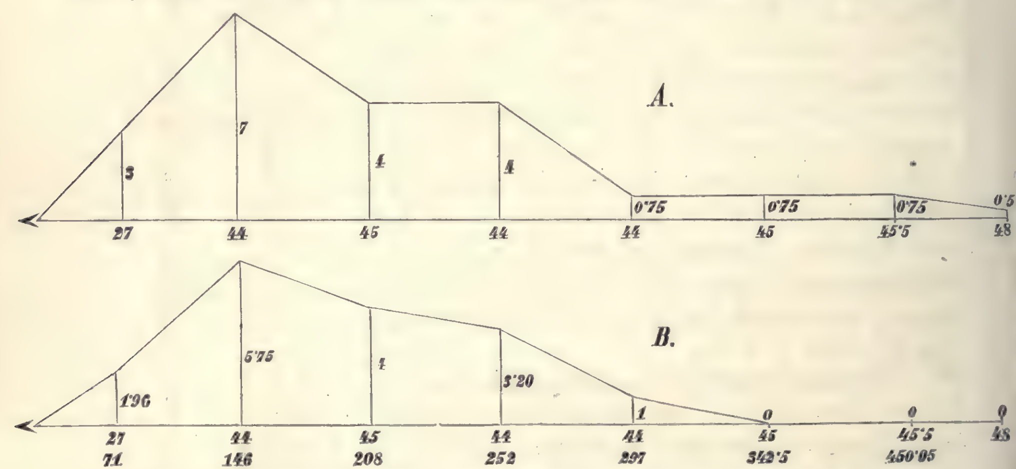


Fig. 192. *A* ſtellt den Unterſchied in der Länge iſolirter Streifen von Mark und Rinde als Function der Entfernung von der Spitze dar bei der Sonnenroſe. *B* ebenſo zwiſchen dem iſolirten Markſtreifen und dem intacten Stammabſchnitte.

wenn Waſſer in das Becherglas *B* gegeben wird. Ich legte, nachdem das Markprisma eben aus dem Niveau des oberen Stengelquerſchnittes hervortrat, nach und nach 27 1/2 Pfund auf das Tiſchchen, um die weitere Quellung zu vermeiden. Ein Druck, welcher dem von 13 1/2 Atmoſphären auf die Flächeneinheit entſpricht.

II. Methode.

Böhm operirte ſo: das trockne grobe Pulver der Erbſen wird in einen Metallbehälter von Geſtalt einer Kanone gegeben und das obere Niveau desſelben mit Gewichten belaſtet. Die Kanone iſt an ihrer Längswand mit ſo feinen Poren verſehen, daß das Waſſer ein-, das Gemenge von Erbſen-

pulver und Waffer aber nicht austreten kann. BÖHM beobachtete einen Druck von 18 Atmofphären.

III. Methode.

In HOFMEISTER's Vorlefungsverfuch wird der negative Holzftreifen oder der negative combinirte Rindeholzftreif an beiden Enden in korkgefütterten Klammern befeftigt. Das eine Ende wird an einer verticalen Scale befeftigt, das andere mit einer Waagfchale und den nöthigen Gewichten belaftet, bis der Streif die Länge des nicht zerlegten Cylinderftückes erreicht hat[1]).

Die geringfte Verkürzung nach der Section betrug 0,8 mm auf 127 mm bei einem Querfchnitte von 0,9 qmm, und um die urfprüngliche Länge durch Zug zu erhalten, wurden 11,7 grm Belaftung erfordert, fo im jüngeren Internodium von Ricinus.

In einem älteren um 4 Interfolien tiefer belegenen wurde die Contraction von 3,5 mm auf 180 mm durch eine Belaftung von 50 grm ausgeglichen bei einem Querfchnitte von 1,1 qmm.

D. Die Gewebespannung, eine Folge der osmotischen Spannung des Wachsens und der Quellung.

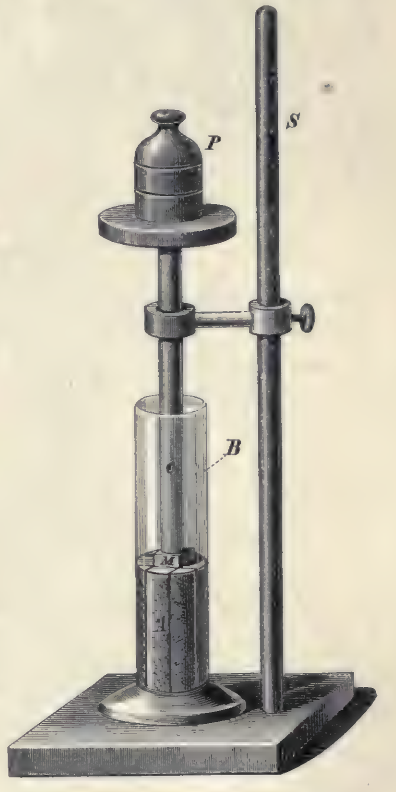


FIG. 193.

Die Orte, wo der Zuwachs erfolgt und die von ihm abhängigen Spannungsphänomene vorkommen, find in gewiffem Sinne die Ausflußftellen eines Stromes oder eines Syftemes von Strömen, welche fich nach dem Orte des geringften Widerftandes ergießen. Zu complicirteren Bewegungsvorgängen kommt es nun bei der Pflanze dadurch, daß äußere Perioden in der Temperatur und Beftrahlung das Wachfen zunächft beeinfluffen und den Waffergehalt der Gewebe langfamer oder fchneller verändern (f. weiter unten § 35. *F. G. H.*). Wird aber zunächft von diefen abgefehen, fo liegen in dem Wachfenden felbft offenbar Urfachen der Veränderung.

---

[1]) Verfuchsmaterial: wachfende Hollunder, Helianthuszweige, Alliumblätter, Weinfproffe u. a. m.

1⁰ wird der Vorrath osmotifch wirkfamer Körper verbraucht, dadurch, daß ein Theil der gelöften Körper feft, der Reft auf ein größeres Waffervolum vertheilt wird;

2⁰ die Quellungsfähigkeit finkt in dem Maß, wie die Maffen in den feften Membranen und deren Dichte wachfen.

Trotz einem fteten Zufluß aus entfernteren Gegenden wird doch die Bewegungsurfache der Wachsthumserfcheinungen kleiner. Die Intenfität wächft umgekehrt, proportional dem erreichten Vorrath der angehäuften feften Maffe.

Faffen wir nun alle Urfachen der Volumänderung zufammen für eine Zelle *a*, welche beifpielsweife im Parenchym liegt und fo lange fie in der Pflanze fich befindet, pofitiv gefpannt ift, gegenüber einer gleichgroßen Zelle *b*, welche im Holzkörper liegen mag, mit negativer Spannung, so beruht ihr Volum, beziehungsweife ihr Längenunterfchied, zuerft auf ungleichem Wachsthum, *a* ift gleichlang wie *b* und das Syftem ift in Spannung, dieß ift die erfte Phafe. In der zweiten Phafe find beide ausgewachfen, fo lange fie in Verbindung find herrfcht Spannung, welche wachfen oder finken kann, indem *a* Waffer auf dem Wege der Osmofe aufnimmt oder abgiebt.

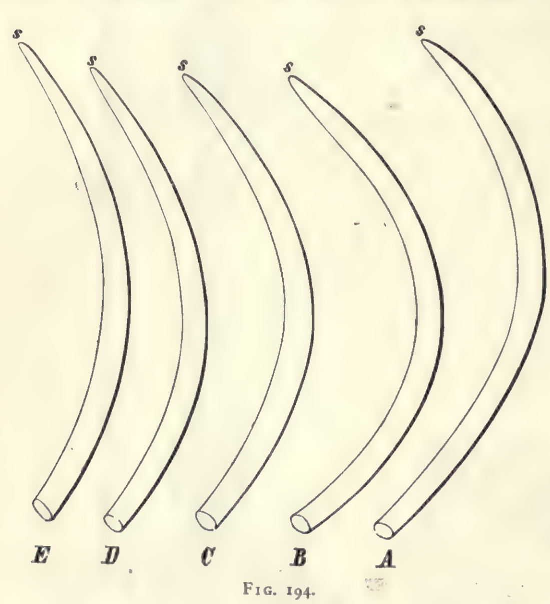


Fig. 194.

Die dritte Phafe ift dadurch gekennzeichnet, daß *a* und *b* ausgewachfen, daß *a* wie *b* osmotifch nicht mehr wirkfam find. Die Gewebefpannung ift verfchwunden bis auf geringe Längenunterfchiede, welche durch ungleiche Quellung der Membrane von *a* und *b* erzeugt werden.

Verfuch I.

Um zu zeigen, daß die Spannkraft in einem geraden oder gekrümmten Organ, Stengel oder Blatt im erwachfenen Zuftande nicht gleichmäßig vertheilt ift, kann man das in Fig. 194 veranfchaulichte Experiment an einem Blatt von Allium altaicum ausführen. In *A* ift das ganze Blatt ver-

zeichnet, in *B* ift die Epidermis abgezogen, die Krümmung ift gewachfen. In *C* ift die grüne Parenchymfchicht abgefchnitten, in *D* ift der Reft der Gewebe, das weiße Mark, kürzere, in *E* ift derfelbe längere Zeit in Waffer gelegt.

Verfuch II (nach Hofmeister).

Schneidet man eine Stammzelle der Charen an, fo, daß der unter hydroftatifchem Druck ftehende Zellfaft ausfließt, fo geht ein Theil der Feftigkeit gerade fo verloren, wie wenn eine fonft fchlaffe Blafe, welche, prall mit Waffer gefüllt, eine erhebliche Feftigkeit befitzt, angefchnitten wird. Ift die Charenzelle durchfchnitten und die Flüffigkeit ausgetreten, fo befitzt fie immer noch foviel Feftigkeit, daß fie unter ihrer eigenen Laft fich nicht beugt. Beim Knirfchen oder Zerreiben geht aber auch diefer Theil verloren, fie erfchlafft vollftändig.

E. Turgor und Festigkeit.

Die ifolirten Streifen der pofitiv und negativ gefpannten Gewebe können fchlaffer fein wie das gefpannte, aber intacte Cylinderftück des Stammes, aus welchem fie ftammen. Die Feftigkeit des intacten Syftemes und des combinirten Streifens ift meiftens größer, wenn fchon nicht für alle, auf das Syftem wirkende Kräfte.

Die Biegungs- oder Zugfeftigkeit ift unter allen Umftänden in dem unverletzten Syftem größer, wie in jedem ifolirten Streifen, weil dasfelbe eben feftere und weniger fefte Streifen gleichmäßig um die Peripherie des Organes vertheilt enthält.

Abfolut kleinfte Zugfeftigkeit befitzen die expanfiven Gewebe, Mark, Parenchym der Rinde.

Abfolut größte Zugfeftigkeit befitzen die Epidermis und die Fafergewebe des Holzes und Baftes.

1° Das Maß diefer Feftigkeit[1]) muß veränderlich fein im Laufe der Entwickelung.

2° Im Allgemeinen nimmt mit dem Alter die Feftigkeit zu. Im Holz- und Rindenkörper kommen ungeheure Zugkräfte zum Ausdruck, innerhalb des Zeitraumes von Jahrhunderten, welche ein Baum ausdauert.

Im Anlagezuftande find gleichwohl alle Membranen im ifolirten Zuftande fchlaff, fo namentlich im Cambium. Die Turgescenz oder Spannungsfeftigkeit wird in folchen fchlaffen Membranen hergeftellt durch den Druck der Zellflüffigkeit auf die Wand.

---

[1]) Es ift das Product aus dem Gewicht in die Verlängerung in dem Zeitpunkt, wo bei fteigender Belaftung foeben das Zerreißen eintritt, bei einem Stabe (Gewebeftreifen) von gegebenem Querfchnitt und gegebener Länge.

Eine naſſe leere Blaſe (Darm) wird feſt durch den hydroſtatiſchen Druck, welchen eine osmotiſch wirkſame Flüſſigkeit, mit welcher die Blaſe gefüllt iſt, oder ein gepreßtes Gas ausübt.

Bei den Pflanzen aber kommt noch in Betracht, daß auch die nicht in dieſem Sinne geſpannte Membran ihre Zugfeſtigkeit ändert, je nach dem Waſſergehalt. Sie erſtarkt durch Einlagerung feſter Theile und des Waſſers; ſie erſchlafft durch Waſſerverluſt und dadurch, daß wir ſie zerknirſchen, d. h. einen ſo hohen Druck im Achatmörſer etwa anwenden, daß die kleinſten Theile eine außerordentliche Lagenänderung, bezogen auf die flüſſigen Theile, erfahren. Lufttrockenes Stärkemehl im Achatmörſer zerknirſcht, wird zu einer teigigen Maſſe.

F. Periode der Spannungsintensität.

Aus den früheren Abhandlungen erhellt, daß die höhere Pflanze ein Gefäß mit elaſtiſcher Wand darſtellt, in welchem die Gewebeſpannung ſich periodiſch verändern muß:

1° mit dem täglichen Temperaturwechſel,

2° mit dem Lichtwechſel von Tag und Nacht,

3° in Folge der Schwankung der Verdunſtung.

Bei unſeren Bäumen ſteht die Rinde unter ſtetem Druck durch den Zuwachs und die Quellung des maſſiven Holzcylinders. Rindenriſſe erweitern ſich in der Querrichtung und nicht in der Längsrichtung. Die klaffende Wunde eines Rindenlängsſchnittes erweitert ſich Nachts mehr, wie am Tage. Innerhalb ſo kleiner Zeitgrenzen wurde hier eine Periode beobachtet, daß der Zuwachs während dieſer Zeit nicht als Urſache angeſehen werden darf.

Der Wurzeldruck oder vielmehr die Hales'ſchen Queckſilberdrucke können durchaus nicht als Maß der Spannung angeſehen werden. Wohl aber wird man, wie dieß auch ſchon mehrfach geſchehen iſt, die Bewegungserſcheinungen mancher Pflanzen benutzen können, um einen Einblick in die Größe der Spannkräfte zu gewinnen. Der Mimoſenblattſtiel iſt ein ſehr langer Hebel, an deſſen einem Ende eine, bezogen auf die Maſſe der beiden Polſter, ſehr große Maſſe befeſtigt iſt. Durch den Antagonismus der zwei Polſter wird der Blattſtiel gehoben oder geſenkt. Die Möglichkeit der Reizbarkeit beruht bekanntlich darauf, daß das untere Polſter plötzlich an Spannkraft verliert, dieſes untere Polſter iſt aber das ſtärkere, denn es hebt die Laſt an dem langen Hebel und comprimirt noch dazu das obere Polſter.

---

[1]) Kraus, die Gewebeſpannung. Bot. Ztg. a. a. O.

Wenn nun der Druck einer Wassersäule, die auf dem Querschnitte ruht, allmälig gesteigert wird, so wird das untere Polster immer expansiver und der Blattstiel wird gehoben. Es ist nun aber die Reizbarkeit verschwunden. Das Blatt bleibt so lange stabil, als der größere Druck wirkt. Dieser Druck ist keineswegs sehr groß und kommt bei Weitem dem HALES'schen Drucke nicht gleich.

Der Druck in einem System von Zellen hängt also nicht allein ab von dem Wurzeldruck, sondern

1⁰ von der Verdunstung,

2⁰ von der zuströmenden Wassermenge,

3⁰ von der osmotischen Differenz,

4⁰ von der Anziehung der festen Membrantheile zum Wasser und

5⁰ in dem Phänomen, welches bei der Mimosa in Betracht gezogen wurde, von dem Verlauf der wasserleitenden Bahnen (s. § 36).

Nach den Untersuchungen MILLARDET's zeigen sowohl die Stämme wie auch die Blattstiele der Mimosa eine Periodicität in der Spannung. Ein Maximum liegt zwischen Mitternacht und 6 Uhr des Morgens, ein Minimum zwischen dem letzten Zeitpunkt und Mittag. Zu Mittag wird ein zweites Maximum erreicht und ein absolutes Minimum um 6 Uhr Abends.

---

§ 25. Intercellularräume[1]).

Während die Organe der höheren Pflanze sich strecken, lockern sie sich in der Weise auf, daß polyëdrische, luftführende Räume entstehen, welche zwischen den Zellen belegen sind. Intercellularräume solcher Art fehlen den Mycelien der Pilze, dem vegetativen Gewebe vieler Algen. Sie fehlen dem Moosblatte, treten zuerst mit dem Lager der Marchantieen und dem Prothallium der Farne auf, und sind stete Begleiter der parenchymatösen Gewebe aller höheren Pflanzen. Sie fehlen oder treten zurück in dem Holzkörper der Nadel- und Laubbäume, mit Ausnahme der harzführenden Canäle der Pinus- und Piceaarten. Sie fehlen der Epidermis an der großen Mehrzahl der Berührungsflächen der Zellen, dem Kork und Periderma der Rinde.

---

[1]) Luftführende Intercellularen fehlen bei den Blättern der Laubmoose (bei Sphagnum [wichtiges Studienobject] sind luftführende Zellen vorhanden), sie kommen vor bei den Marchantieen und allen höheren Cryptogamen.

A. Specifisches Gewicht der Gewebe [1]).

Ein allseitig geschlossenes, mit Wasser gefülltes Zellgewebe ist specifisch schwerer wie Wasser [1]). Die Zellenflüssigkeit lebender Wasserbewohner ist wohl meist ebenfalls etwas dichter wie Wasser, wenn nicht dort eine große Ansammlung von Oel oder Fett stattfindet. Das Fluthen und Schwimmen

---

[1]) Die Wurzel wachse erst in einer Wasserschicht unter beliebiger Richtung zur Schwere und dringe dann in eine Schicht, welche dichter ist wie sie selbst und dichter wie das Wasser, z. B. Queckfilber. Der Auftrieb, der sich geltend macht, ist eine beschleunigende Kraft und die Intensität hängt ab von dem specifischen Gewicht der Wurzel und der Flüssigkeit.

Die Kraft, welche den Körper im Wasser auftreibt, ist

$v\ (d - d')$, wo d das specifische Gewicht des Wassers

» d' » » » des untergetauchten Körpers, v dessen Volum bedeutet. Ist der Körper ein untergetauchter homogener Stab, so ist die Bewegung desselben im Wasser leicht zu behandeln. Die Wurzel, welche in das Wasser wächst, ist aber kein homogener Stab, sondern ihr specifisches Gewicht nimmt von der Spitze ab gerechnet in jedem Querschnitt verschiedene Werthe an, daher kommt es denn, daß der Auftrieb nach einer bestimmten Function, welche von der Entfernung von der Spitze abhängig ist, wächst. Diese Function ist also eine Function von λ. λ selbst aber ist, wie wir früher gezeigt, eine Function der Zeit, weil die Wurzel stetig in das Wasser wachsen soll. Vergleichen wir zuerst, wie sich ein homogener cylindrischer Stab, der lothrecht im Wasser steht, gegenüber der Wurzel verhalten würde, die wir ebenfalls als einen cylindrischen Stab betrachten können, die Dichte des Stabes in allen Cylinderelementen ist gleich d', die Dichte der Wurzel ist aber in den verschiedenen Cylinderelementen verschieden, und zwar nimmt sie von der Spitze ab gerechnet ab. Sie habe aber in einem bestimmten Cylinderelement die Dichte d', die Dichte des Wassers sei d.

Die Dichte der Wurzel ist also

$$d'' = f(\lambda) \quad \lambda = f(t).$$

Daraus geht nun hervor, daß je näher das Cylinderelement der Wurzel an dem Spiegel des Wassers liegt, desto größer wird der Auftrieb.

Bei dem homogenen Cylinder sei $d' < d$, der Cylinder würde auf dem Wasser schwimmen; suchen wir nun die Zeiten, wann die einzelnen Cylinderabschnitte am Wasserspiegel ankämen, wenn wir uns vorstellen, der Cylinder sei mit einem Schlage in seine Elemente zerlegt und diese seien seitlich parallel mit sich selbst so verschoben, daß sie geradlinig, ohne sich gegenseitig zu stören, aufsteigen können.

$v\ (d - d')$ ist die beschleunigende Kraft der Schwere in diesem Falle.

Es ist klar, daß die Zeiten, welche die einzelnen Theilchen brauchen, umgekehrt proportional den Entfernungen vom Spiegel, oder die Räume sind dem Quadrat der Zeiten proportional:

$$s = \frac{g}{2} t^2; \quad t = \sqrt{\frac{2s}{g}}.$$

Anders ist es, wenn wir die Wurzel in gleichlange, gleichvolumige Elemente zerlegt denken; da man nämlich wegen des Verhältnisses der luftführenden Räume der Wurzel zu den flüssigkeitsführenden alle Werthe zwischen d (der Dichte des Wassers) und einer bestimmten Größe, größer als d, und einer anderen, kleiner als d, annehmen kann, so

von Fadenalgen im ſüßen Waſſer iſt daher nicht ohne Weiteres verſtändlich. Es wird ermöglicht durch kleine Luftbläschen, welche in den Raſen ſolcher Pflanzen ausgeſchieden werden.

---

folgt, daß von der Spitze ab ein Theil der Cylinderelemente ſinken würde bei der vorgedachten Zerlegung, ein Theil würde ſchweben, hier wäre das ſpecifiſche Gewicht des entſprechenden Elementes $d' = d$ und dann kämen erſt die Theile, welche aufſteigen, und zwar würde die beſchleunigende Kraft, mit welcher dieſe letzteren aufgetrieben werden, wachſen, da d' bis zu beſtimmter Grenze kleiner wird wie d.

Man wird bei einer experimentalen Beſtimmung der Orte, wo $d' >$ oder $< d$ als die Dichte des Waſſers, am beſten ſo verfahren, daß man eine unverletzte Wurzel in beſtimmter Entfernung von der Spitze abſchneidet und in's Waſſer wirft. Man hat dann nur nöthig dieſes Cylinderſtückchen nach und nach zu verkürzen und immer wieder zuzuſehen, ob die ſo erhaltenen Reſte ſchwimmen, ſchweben oder ſinken. Ganz vorwurfsfrei iſt das Experiment freilich nicht, da ſich die Lufträume zum Theil mit Waſſer füllen. Indeß iſt es die einzige Methode und der mit ihr verbundene Fehler kann das Gewicht, um das es ſich handelt, nur größer machen.

Verſuch I mit einem Wurzelabſchnitt, der von der Spitze ab 54 mm maß:

das ganze	Stück	0 + 54 mm	ſchwimmt;	der	2te	Abſchnitt	54 — 40 mm		ſchwimmt;
das	»	0 + 40	»	»	»	3 »	»	40 — 30	»	»
»	»	0 + 30	»	»	»	4 »	»	20 — 10	»	»
»	»	0 + 20	»	ſinkt;	»	5 »	»	10 — 5	»	ſchwebt;
»	»	0 + 10	»	»	»	6 »	»	0 + 5	»	ſinkt.
»	»	0 + 5	»	»						

Verſuch II mit der Erbſenwurzel (Fig. 195).

Das ganze Stück ſchwimmt,
» » » minus a ſchwimmt; a ſchwimmt;
» » » » $a + b$ ſinkt; b »
» » » » $a + b + c$ ſinkt; c »
» » » » $a + b + c + d$ ſinkt; d ſchwebt.

Fig. 195.

Das Stückchen, welches für ſich allein ſinkt, käme, wenn die wirkende Kraft, welche die Wurzel in's Waſſer treibt, die Schwere iſt, alſo allein in Betracht.

Denkt man ſich nun die Wurzel nicht gerade in's Waſſer wachſend, ſondern unter einem beliebigen Einfallswinkel, ſo würde ſchon das wenige Millimeter lange Stückchen nicht mehr für ſich gedacht ſinken. Es iſt aber nach Meſſungen ſehr wahrſcheinlich das Stück, welches die Krümmung abwärts ausführt, d. h. wenn die Wurzeln, die ſich abwärts beugen, in's Waſſer wachſen, ſo wächſt das Stückchen an ſeiner oberen Seite ſtärker als an der unteren, und das ſpecifiſch ſchwerere Stückchen nimmt nur geringen Antheil an der Krümmung, Fig. 196.

Fig. 196.

Damit iſt denn nachgewieſen, daß das Gewicht von e es nicht ſein kann, welches die Krümmung von d herbeiführt.

Betrachten wir noch den Fall, daß die Wurzel erſt ein weniger dichteres Medium, dann aber ein dichteres Medium, Queckſilber, Fig. 196, antrifft, in welches ſie hineinwächſt.

Junge Zweigtheile der Landbewohner, ſowie der am Grunde der Gewäſſer wurzelnden Waſſerpflanzen ſind ebenſo ſchwerer wie Waſſer, bis ſie in Folge der mit der Streckung erfolgenden Auflockerung einen Auftrieb erfahren.

B. Entstehung der Intercellularräume.

Die Membranen trennen ſich in dem gemeinſchaftlichen Schnittpunkt oder richtiger in einer Kante, welche drei, vier, fünf u. ſ. f. Zellen gemeinſam zukommt, Fig. 197, 198, und in ſelteneren Fällen in einer derjenigen Flächen, welche zwei Zellen gemeinſam iſt. In der Fig. 198, welche einen Theil der Fig. 197 vergrößert und ſchematiſch darſtellt, waren die Stücke *a F* den Zellen *I II*, *d F* den Zellen *I III* gemeinſam u. ſ. f. Nach der Trennung in zwei Lamellen wird das Stück *a F d* zu *a d*, *a F b* zu *a b* u. ſ. f. und der Raum *a b c d* iſt neu hinzugekommen.

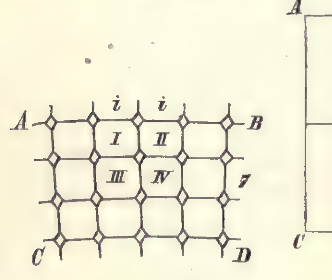


Fig. 197. Kleine Parthie aus dem Querſchnitt der Wurzel von Sorghum, eben entſtehende Intercellularräume.

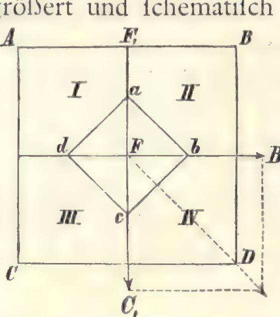


Fig. 198. Schema der Entſtehung eines Intercellularraumes zwiſchen den 4 Zellen *I, II, III, IV*.

Der ſcheinbare Widerſpruch, welcher ſich im geometriſchen Sinne ergiebt, wird gehoben, indem man zu beachten hat, daß das Syſtem aus einem kleineren Volum nach einem größeren übergeht. Hiebei müſſen in der That die reſp. Flächenſtücke *F' a* ſtärker wachſen, wie die zu *a F* analogen[1]).

[1]) Der geometriſche Widerſpruch iſt nämlich dieſer: Das Syſtem Fig. 198 ſoll ſich bei der Bildung des Intercellularraumes *a b c d* ſo verändern, daß das Wandſtück *a F b* zu *a b*, *b F c* zu *b c* wird u. ſ. f. Hier müßte, wenn das ganze Syſtem unveränderlich wäre, eine Contraction der Wandſtücke eintreten.

Wir müſſen uns, da der Auftrieb jetzt $v\ (d - d')$ = 13 mal ſo groß (oder ſelbſt 32 mal ſo groß) wie im erſten Medium war, denſelben für das Stückchen in dieſem Sinne vorſtellen:

Wächſt die Wurzel genau ſenkrecht, ſo iſt an und für ſich kein Grund zu der Beugung vorhanden, denn dann kann höchſtens in Frage kommen der Druck einer Flüſſigkeitsſäule auf die Spitze der Wurzel und ob das Wachsthum bei dieſem Druck noch fortgeſetzt werde? Wächſt die Wurzel aber ſchief im Queckſilber, ſo erleidet ſie durch den Auftrieb eine Beugung an einem Punkt, der viel weiter zurückliegt wie die Zuwachsſtelle und wenn ſie weiter in's Metall wächſt, ſo kann der Drehungspunkt mit dem Befeſtigungspunkt zuſammenfallen.

Dieſe Krümmungen haben aber offenbar gar nichts mit der Krümmung zu thun, die wir beobachteten, wenn die Wurzel in der Atmoſphäre ſich abwärts beugt. Je dichter alſo das Medium, je größer der Auftrieb, deſto leichter wird die Wurzel von ihrem anfänglichen Verlauf abgelenkt, ohne daß die Ablenkungs-, reſp. Krümmungsſtelle mit der Krümmungsſtelle in der Atmoſphäre zuſammenfällt.

Die Geſtalt des Querſchnittes der Intercellularräume muß, nach der Entwickelungsgeſchichte für jugendliche Zuſtände, zunächſt ſtreng abhängig ſein von der Anzahl der Zellen, welche in der gemeinſamen Kante *F* ſich berührten. Sie iſt gleich einem dreiſeitigen Prisma, wenn drei Zellen, gleich einem vierſeitigen, wenn vier Zellen ſich berührten u. ſ. f., und endlich ein Cylinder-linſenförmiger, wenn die Trennung in einer gemeinſamen Membranplatte erfolgte. Fig. 200, 201.

C. Bedeutung der intercellularen Räume.

Außer den Verhältniſſen unter S. 196 kommen hier in Betracht:

1° der Gasverkehr der Atmoſphäre in luftführenden Räumen der Blätter, Stämme, Wurzeln,

2° die Abſcheidung, Secretion der Harze, Gummiharze, Eſſenzen und Schleime.

1. Bei den Wasserpflanzen [1])

würde der Verkehr mit den atmoſphäriſchen Gaſen außerordentlich erſchwert ſein, wenn nicht durch die ſehr großen luftführenden Intercellularen eine Maſſenbewegung der Gaſe ermöglicht wäre. Die Auflockerung iſt gerade hier eine außerordentliche.

Die ausgewachſenen Blätter und Zweige ſubmerſer Waſſerbewohner beſitzen ein ſehr kleines ſpecifiſches Gewicht, dementſprechend einen großen Auftrieb. Die Entſtehung dieſer Lufträume bewirkt ſomit eine Lagen- und Richtungsänderung, welche nach der Lothrichtung hinſtrebt. Der Auftrieb wird freilich nur ſolche Pflanzentheile in's Loth richten, welche am Boden feſtgewachſen ſind, oder ſolche, deren Schwerpunkt an einem Ende des cylindriſchen Organes liegt.

In der Fig. 199 *D* iſt erſichtlich, daß das Volum der luftführenden Intercellularräume *J* das Volum der Zellgewebe bei Weitem überwiegt. In gleichem Sinne iſt das Grundgewebe der Stämme von Acorus, Fig. 199 *B*, ſoweit aufgelockert, daß die Zellenketten polyëdriſche, ſehr große Lufträume einſchließen. Von hiſtologiſchem Intereſſe ſind die Zellen der Sagittaria, Fig. 199 *E*, wo je in einer zwei Zellen gemeinſamen Lamelle linſen- oder ellipſencylindriſche Intercellularen entſtehen. In dem Diaphragma der Potameen, Fig. 199 *A*, befinden ſich polyëdriſche Zellen des Grundgewebes, welche in der, drei Zellen gemeinſamen, Kante ſo auseinanderweichen, daß die Ecken des entſtehenden Intercellularraumes in das Lumen der Grenzzellen hineinragen. Die Binſen bilden in ihrem Marke 3-, 5-, 6 ſtrahlige Zellen, welche ſo verbunden ſind, daß dreiſeitige Intercellularräume ent-

---

[1]) Studienmaterial: Stamm und Blattſtiel der Nymphæaceen, ebenſo bei den Potameen, Aroideen (Acorus), amphibiſchen Polygoneen, Ranunculaceen und viele andere.

ſtehen, Fig. 199 *C*. Um dieſe Anordnung entwickelungsgeſchichtlich überſichtlich zu machen, beobachte man, daß die Fig. *a, b, c, d, e,* Fig. 199 *C*,

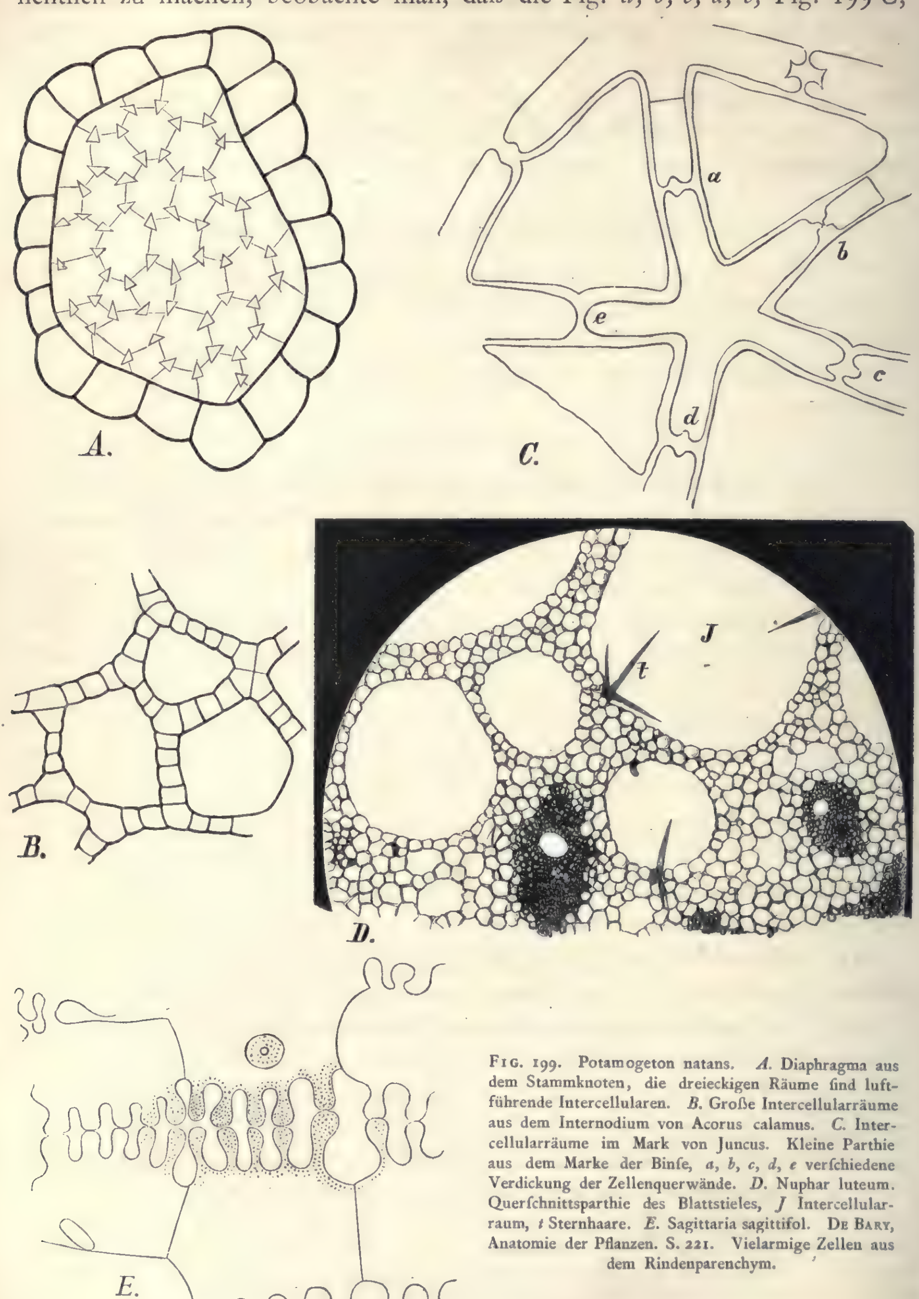


Fig. 199. Potamogeton natans. *A.* Diaphragma aus dem Stammknoten, die dreieckigen Räume ſind luftführende Intercellularen. *B.* Große Intercellularräume aus dem Internodium von Acorus calamus. *C.* Intercellularräume im Mark von Juncus. Kleine Parthie aus dem Marke der Binſe, *a, b, c, d, e* verſchiedene Verdickung der Zellenquerwände. *D.* Nuphar luteum. Querſchnittsparthie des Blattstieles, *J* Intercellularraum, *t* Sternhaare. *E.* Sagittaria sagittifol. De Bary, Anatomie der Pflanzen. S. 221. Vielarmige Zellen aus dem Rindenparenchym.

urſprünglich ein Pentagon war, zur Zeit wo das Gewebe ſeinem cubiſchen Inhalt nach noch viel kleiner war. Zu dieſer Zeit grenzten die Polygone der Nachbarzellen mit planen Wänden an das in der Figur gegebene Pentagon, ſie wuchſen nun mit der Streckung des Organes derart, daß ſie Ausläufer *a, b, c, d, e* bildeten, welche mit denjenigen der Nachbarzellen in *a, b* und f. f. verwachſen blieben. (Man laſſe die Arme *a, b, c, d, e* zurückfließen, ſo kommt man zu dem beſagten Pentagon.)

2. Bei den Landpflanzen.

Die Stämme der Landpflanze, insbeſondere aber die Blätter, ſind auf gewiſſe Nährkörper, welche in der Atmoſphäre im Gaszuſtand befindlich ſind, angewieſen. Die Organe ſind an Licht und Luft angepaßt. Der wichtigſte Apparat für die Aufnahme der atmoſphäriſchen Gaſe iſt die Spaltöffnung.

a) Entwickelung und Stellung der Spaltöffnung[1]).

Dieſe merkwürdige Einrichtung fehlt in dem Kreiſe aller niederen Cryptogamen, Algen, Pilze. Sie tritt zuerſt auf bei den Marchantieen und in der Kapſel der Laubmooſe, ſie fehlt in den Blättern und Stämmen aller Jungermannieen und Laubmooſe, in allen Prothallien der höheren Cryptogamen. Sie tritt durchaus geſetzmäßig auf von den Gefäßcryptogamen ab, in allen vegetativen Theilen, Blättern, Zweigen und ſo fort, ſie fehlt häufig im Blüthenblatt und in der Anthere.

Das Laubblatt aber iſt das ſpaltenreichſte Organ.

Bei den großen Blättern der Waſſerpflanzen iſt die Oberſeite dann reicher an Spalten, wenn die morphologiſche Unterſeite dem Waſſerſpiegel anliegt.

Bei den Landpflanzen iſt umgekehrt die nicht direct beſtrahlte Unterſeite meiſtens reicher an Spaltöffnungen.

Die Anzahl der in der Flächeneinheit (ein Quadratmillimeter) enthaltenen Spalten ſchwankt in weiten Grenzen.

Zahl der Spalten auf einen Quadratmillimeter[2]):

bei 54 Arten	1—100 Spalten	
» 38 »	100—200	»

---

[1]) Dr. Creck, Unterſuchungen über die Zahlverhältniſſe und die Verbreitung der Stomata. S. 101. Bot. Ztg. 65. — A. Weiss, Unterſuchungen über die Größen- und Zahlenverhältniſſe der Spaltöffnungen. S. 125. Pringsh. Jahrb. Bd. IV. — E. Strasburger, Ein Beitrag zur Entwickelungsgeſchichte der Spaltöffnungen. S. 297. Pringsh. Jahrb. Bd. V. 1866—67. — Zingeler, Die Spaltöffnungen der Carices. Pringsh. Jahrb. Bd. IX. S. 127. — Strasburger, Pringsh. Jahrb. Bd. V, S. 297.

[2]) Nach Weiss, Pringsh. Jahrb. Bd. IV.

bei 39	Arten	200—300	Spalten,
» 12	»	300—400	»
» 9	»	400—500	»
» 3	»	600—700	» .

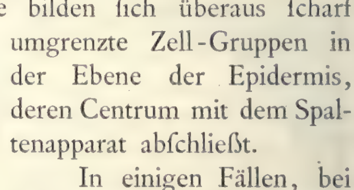
Nachdem die größeren Epidermiszellen an bestimmten Orten eine kleinere Zelle abgeschieden, Fig. 200 *a*, theilt sich diese

a) in zwei Zellen, welche den Spalt bilden. Diese Schließzellen des Spaltes durchlaufen, mit der ganzen Fläche wachsend, die Entwicklungsreihe *a, b, c,* Fig. 200 *A*. Die beiden Schließzellen liegen im ausgewachsenen Zustand in der Fläche der Epidermis (Fig. 201 *A*) oder sie liegen etwas vertieft (Fig. 201 *D*) oder sie liegen ganz auf der Innenseite derselben (Fig. 201 *C*).

b) Der Entstehung der Schließzellen aus jener kleinen Zelle *a*, Fig. 200, geht ein einfacher oder complicirter Cyclus von Zelltheilungen voraus, derart, daß die beiden Schließzellen gleichzeitig aus einer Zelle des ersten, zweiten u. s. f. Grades der Verwandtschaft zu *a*, Fig. 200, entstehen.

Auf diese Weise bilden sich überaus scharf umgrenzte Zell-Gruppen in der Ebene der Epidermis, deren Centrum mit dem Spaltenapparat abschließt.

In einigen Fällen, bei den Crassulaceen namentlich deutlich, Fig. 202, wird ein Cyclus von Theilungen vollführt, welcher in der Flächenansicht genau identisch ist mit den Zelltheilungen in der unmittelbaren Nähe der Scheitelzelle der Moose und Farrenkräuter.



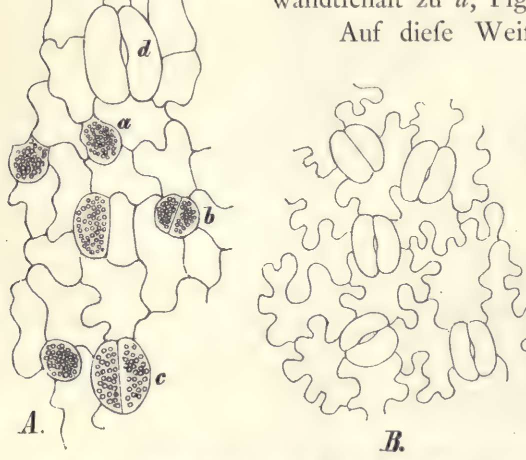


Fig. 200. *A.* Osmunda regalis. Junge Epidermis mit verschiedenen Entwickelungsstadien (*a* der jüngste, *d* der älteste) der Spaltöffnung. *B.* Marattia cicutifolia. Abgezogene Epidermis.

Eine der Mutterzellen *A*, Fig. 202, theilt sich durch senkrecht zur Fläche stehende Wände *I I, II II, III III*, Fig. 202 *B*, so, daß, wie auch die Gestalt der Mutterzelle *A* gewesen sein möge, die jeweilige Mutterzelle für die nächste Theilung einem sphärischen Dreieck *a*, *b*, *c* oder *b*, *c*, *d*, *f*, *g*, *e* und s. f., Fig. 202 *C*, zustrebt, bis endlich zuletzt die Schließzellen aus zwei der zuletzt entstandenen Zellen abgeschieden werden (man vergl. die Fig. 202 *A*).

Nach der vollkommenen Streckung liegt der spaltenförmige Intercellularraum etwas vertieft mit einem trichterförmigen Eingang, dem Vor-

hof, einem ebenfolchen auf der Innenfeite, dem Hinterhof. In den Vorhof verlaufen die Cuticula und Cuticularfchichten, allmälig dünner werdend,

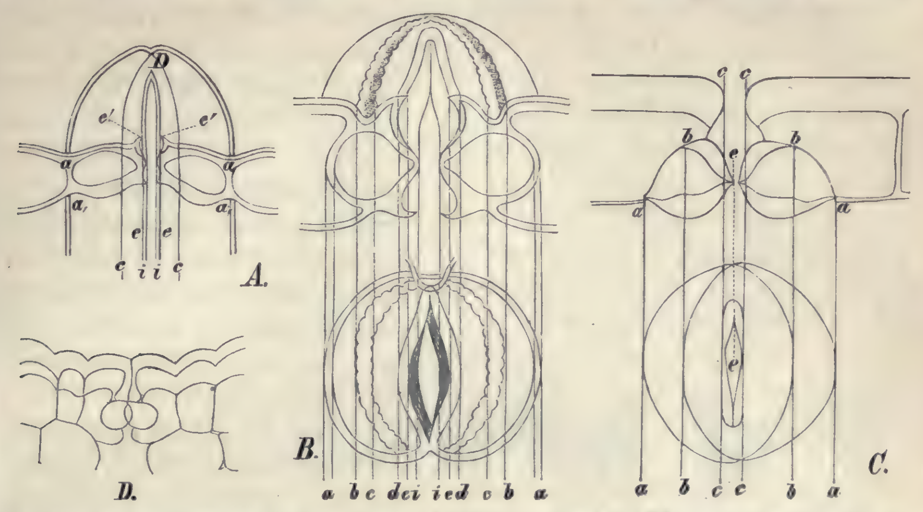
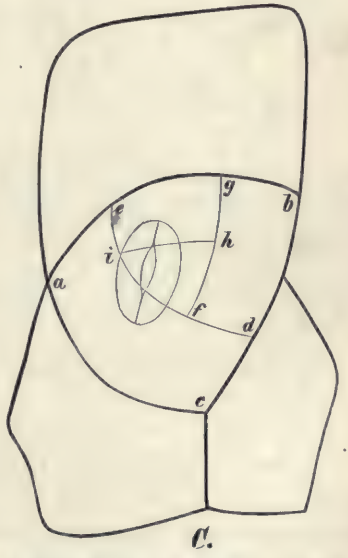


Fig. 201. *A.* Spaltöffnung von Lilium candidum aus dem Durchfchnitt und der Flächenanficht der Epidermis perfpectivifch dargeftellt. *B.* Spaltöffnung von Hæmanthus puniceus, oben in der Anficht wie in *A.*, unten in der Flächenanficht. *C.* Spaltöffnung von Allium altaïcum, oben im Durchfchnitt, unten in der Flächenanficht. *D.* Spaltöffnung von Aloë obliqua im Durchfchnitt der Epidermis.

ein. Der Hinterhof ift nicht cuticularifirt. Er grenzt unmittelbar an einen der größeren luftführenden Intercellularräume, die Athemhöhle, Fig. 203 *B, f.* Von diefer aus gerechnet, ftehen alle Binnenlufträume mit einander in Verbindung. Die Spaltöffnung ftellt fomit die äußerfte Mündung eines, aus dem Innern der Pflanze austretenden Gasftromes dar. Sie



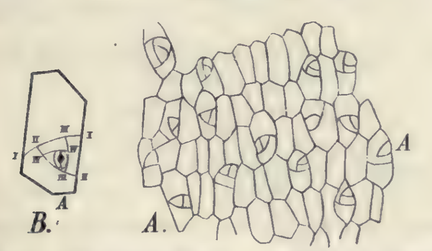


Fig. 202. Sempervivum tectorum. *A.* Abgezogene Epidermis. *B.* Epidermis mit dem Cyclus von Theilungen, welcher der Spaltbildung vorausgeht, fchematifch. *C.* Diefelbe in ftärkerer Vergrößerung.

ift, da die beiden Schließzellen nicht eine dauernde Lage befitzen, fondern, durch fpontane Bewegung, den Spalt öffnen und fchließen, gewiffermaßen ein Gasventil.

Viele Tauſende ſolcher Apparate wirken an einem Blatte. Im kleinſten Flächenelement iſt dadurch für den Gasverkehr geſorgt[1]).

Wir wiſſen nach den Unterſuchungen H. v. Mohl's (vergl. auch Pringsh. Jahrb. Bd. VIII. S. 75) über die Bewegung der Schließzellen und deren Urſachen das Folgende:

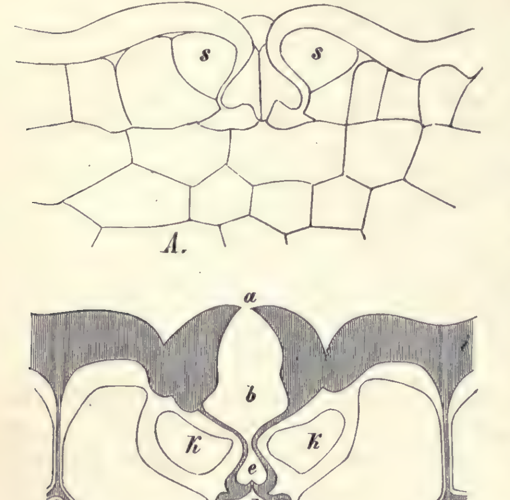


Fig. 203. *A.* Durchſchnitt durch die Epidermis des Miſtelblattes im Knoſpenzuſtand, *s s* die Zellen, welche die Schließzellen der Spaltöffnung ſpäter abtheilen. *B.* Durchſchnittsanſicht einer Spaltöffnung (nach v. Mohl, Bot. Ztg.) von Amaryllis, *a i* Cuticula, *k k* die Schließzellen, *b* Vorhof, *f* Athemhöhle, *d* Hinterhof.

1^0 Die Schließzellen ſind reicher am Protoplasma, an Kohlehydraten, ſie führen abweichend von den Epidermiszellen in einigen Pflanzen ſelbſt Chlorophyll. Die osmotiſche Spannung der Schließzellen iſt größer wie diejenige der angrenzenden Epidermiszellen[2]).

2^0 Die Außenſeite der Schließzellmembran iſt cuticulariſirt, beſteht demgemäß aus zwei antagoniſtiſch wirkenden Membranſtreifen, die Innenſeite des Hinterhofes nicht.

3^0 Vorſichtiges Abziehen der Epidermis[3]) ſchließt die vorher geöffneten Spalten nicht.

a) Waſſerzufuhr ſchließt ſie bei der Mehrzahl vorher geöffneter Spalten. Sie öffnet den Spalt oder erhält ihn offen bei Orchis (ſ. v. Mohl).

b) Zuſatz waſſerentziehender Mittel, Zuckerlöſung, Glycerin ſchließt den Spalt.

c) Inductionsſchläge ſchließen den Spalt (ſ. Pringsh. Jahrb. Bd. VIII. S. 75).

---

[1]) H. v. Mohl, Welche Urſachen bewirken die Erweiterung und Verengung der Spaltöffnungen? 697. 713. Bot. Ztg. 56. — N. J. C. Müller, Die Anatomie und die Mechanik der Spaltöffnungen (als Fortſetzung zu: Diffuſion der atmoſphäriſchen Gaſe u. ſ. f.). Pringsh. Jahrb. VIII, S. 75.

[2]) Lit. Epidermis, Th. Hartig, Ueber die Oberhaut der Holzpflanzen. Bot. Ztg. 53, S. 399. — E. Pfitzer, Beiträge zur Kenntniß der Hautgewebe der Pflanzen. Pringsh. Jahrb. V. 1866—67. — Pfitzer, Ueber die mehrfache Epidermis und das Hypoderma. 526. Bot. Ztg. 69.

[3]) Studienmaterial: Epidermis der Liliumarten, der Orchis, der Amaryllis, Aloë.

d) Rafcher Temperaturwechfel fchließt den Spalt.

4⁰ Höhere Temperatur und Turgescenz führen zur Oeffnung.

5⁰ Höhere Temperatur und Erfchlaffen der Organe, in Folge ftarker Verdunftung, führen zum Schließen.

6⁰ Während des Tages herrfcht im Allgemeinen Offenftellung, während der Nacht aber Schließftellung (abgefehen von den unter 5⁰ genannten Einwirkungen).

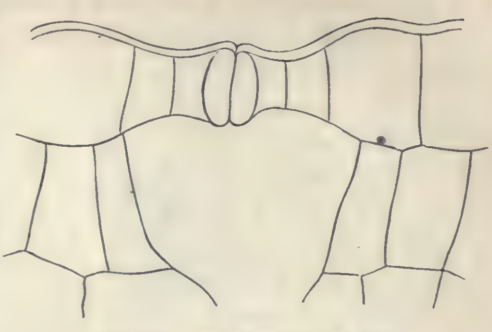


FIG. 204. Spaltöffnung von Zea Mais.

b) Diffufion und Abforption der Gafe in der Membran[1]).

Denkt man fich zunächft in Folge eines Druckunterfchiedes einen Strom aus der Atmofphäre nach dem Laubblatte gerichtet, fo werden alle Areale der Epidermis, welche mit Spalten in der Offenftellung ausgefüllt find, die Bewegung der Gasmolecule nach den Lufträumen im Innern zulaffen. Die Spalten find daher die Diffufionsareale (oder Effufionsareale) des Blattes.

Alle übrigen Areale der Epidermis aber verdichten, löfen die Gafe, folche mögen Abforptionsareale genannt werden.

Endlich find alle Flächen im Innern des Blattes, welche an die luftführenden Intercellularräume grenzen, Abforptionsareale.

Sind alle Spalten gefchloffen, fo ift das Abforptionsareal des Blattes gleich dem feiner Oberfläche, find fie aber alle geöffnet, fo wächft das Abforptionsareal um das Vielfache, je nach der Größe der Zellen und ihrer Auflockerung. Als Beifpiel mögen folgende Meffungen für die Einheit der Fläche an einem, für die Unterfuchung bequemen Alliumblatte angeführt fein:

Summe der Flächen aller geöffneten Spalten,
Effufions- oder Diffufionsareal . . . . . = 0,015.
Abforptionsareal der Epidermis . . . . . = 0,985.
Innere Oberfläche der chlorophyllführenden
Zellen, foweit fie an Intercellularräume grenzt = 13,333.

[1]) N. J. C. MÜLLER, Unterfuchungen über die Diffufion atmofphärifcher Gafe in der Pflanze und die Gasausfcheidung unter verfchiedenen Beleuchtungsbedingungen. PRINGSH. Jahrb. Bd. V. S. 145. 1866—67. — N. J. C. MÜLLER, Unterf. über die Diffufion der atmofphärifchen Gafe und die Gasausfcheidung unter verfchiedenen Beleuchtungsbedingungen. PRINGSH. Jahrb. Bd. IX. S. 36. — J. BŒHM, Ueber den Einfluß des Leuchtgafes auf die Vegetation (Sitzgsber. d. k. Ac. d. Wiffenfch. 1873).

Die Phyſiker[1]) ſtellen ſich das gasförmige Aggregat als aus getrennten Molecülen beſtehend vor. Die Molecüle ſind, ſo lange Temperatur herrſcht, in ſteter Bewegung begriffen und ſtreben die größte Diſtanz zwiſchen einander herzuſtellen.

Das wichtigſte Geſetz für das Verſtändniß der Bewegung in Gasmaſſen ſagt aus:

Die Geſchwindigkeit der Gasmolecüle iſt dem Quadrate ihres Gewichtes umgekehrt proportional. Dieſe Geſchwindigkeit wird beobachtet, wenn Gaſe aus einem Recipienten unter geringem Drucke durch eine ſehr feine capillare Oeffnung ausfließen. In der nachfolgenden Tabelle ſind die atmoſphäriſchen Gaſe, welche für die Ernährung der Pflanze zunächſt in Betracht kommen, im Vergleich mit dem ſpecifiſch leichten Gaſe Waſſerſtoff zuſammengeſtellt.

Gaſe.

Moleculargewicht.	Durchgangsgeſchwindigkeit bei der Effuſion	
	experimentell	berechnet $\frac{1}{d^2} = \sqrt{d^2}$.
O 16	0,951	0,9500
N 14	1,0146	1,0164
H 1	3,7994	3,613
CO_2 22	0,8087	0,821

Die Effuſion wird in der Epidermis, welche freilich aus zwei Membranlamellen beſteht, eine Rolle ſpielen, wenn Spaltöffnungen vorhanden ſind und wenn Druckſchwankungen oder ein Temperaturwechſel die Tenſion der Binnenluft vergrößert oder verkleinert.

Die ſpaltenloſe Epidermis aber läßt im naſſen Zuſtande nur gelöſte Gastheilchen paſſiren.

Im trockenen Zuſtande verhält ſie ſich wie eine feine Lamelle aus erhärtetem und trockenem Gypsſtuck.

Um die Geſchwindigkeiten verſchiedener Gaſe durch ſolche Membranen zu beſtimmen,

---

[1]) Graham, Ann. d. Chemie und Pharmacie 1850 S. 138 ff., ebenda 1862 S. 1, 1864 S. 131. — Krœnig, Poggend. Ann. Bd. 99. — Graham, Poggend. Ann. 1863 Bd. 120. — Naumann, Grundriß der Thermochemie. Braunſchweig. Vieweg u. Sohn. 1869. S. 26 ff.

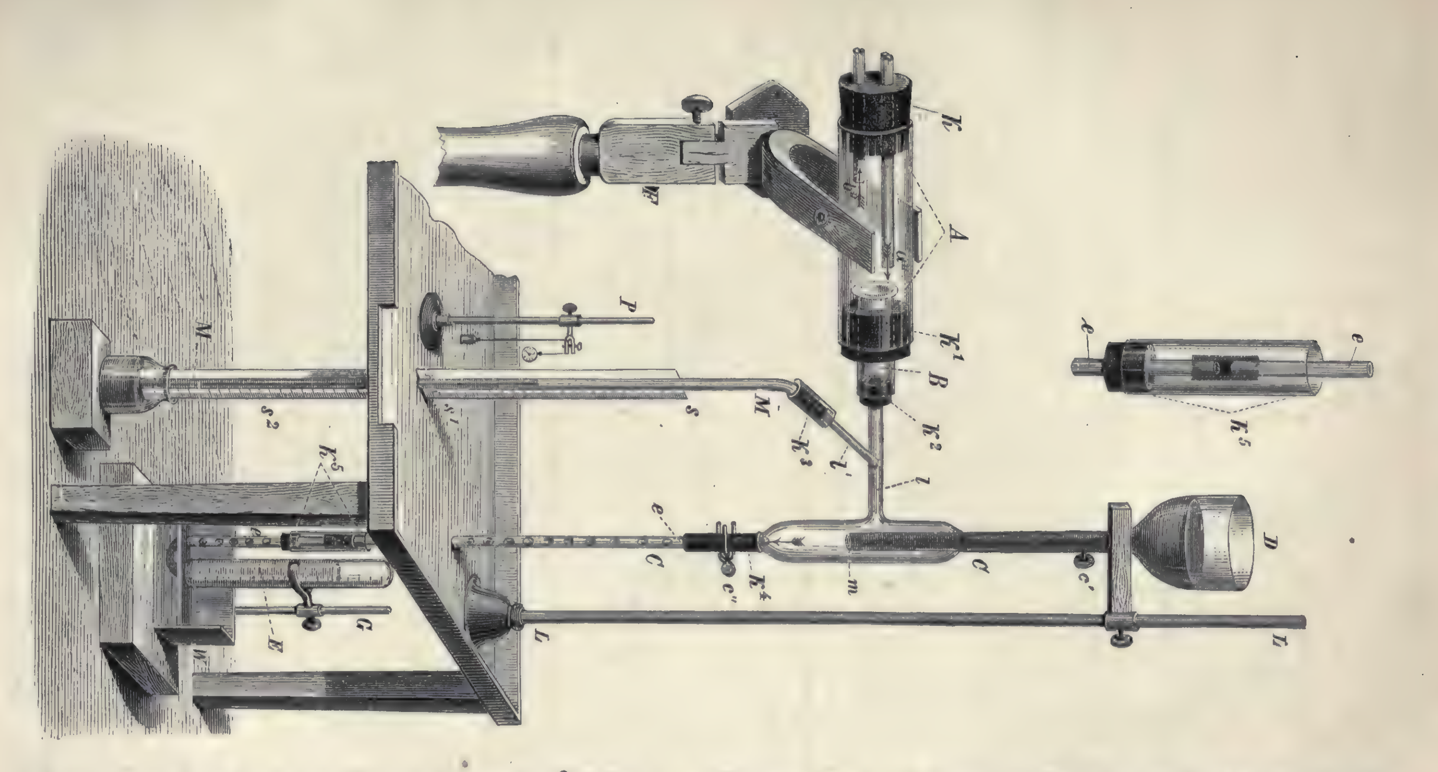


Fig. 205. Apparat für das Studium der Diffusionserscheinungen atmosphärischer Gase von Pflanzenmembranen. *D C* Sprengel'sche Pumpe mit Quecksilber getrieben. Die Gase, welche auf dem Weg $K^1 B l$ in die Pumpe gelangen, werden in dem Absorptionsrohr *E* aufgefangen. $s\ s^1\ s^2$ Manometer, welcher den Druck in der Pumpe anzeigt. In der Erweiterung von *B* ist ein Gypspfropf, auf welchem die Membran liegt. In *A* werden die Gase durch a'' ein-, durch b'' ausgelassen. In *P* eine Secundenuhr, welche gleichzeitig mit dem Spiegel des Manometers *s* abgelesen werden kann.

	Gafe[1]):			Durchgangszeiten: gleicher Volume	
Gewicht.	Gefchw.	durch Kautfchuk.	in Waffer löslich bei 20°.	durch naffe Membran.	durch trockene Membran.
H 1	3,613	5,500	0,0193	928	37,6
N 14	1,0164	1,000	0,0140	197	57,6
O 16	0,950	2,556	0,0283	185	68,3
CO_2 22	0,821	13,585	0,9014	135	79,0
Atmofphäre 1					

kann man fich des in Fig. 205 abgebildeten Apparates bedienen, welcher von Graham zuerft angewandt wurde.

D, C, G, E find die wefentlichen Theile einer mit Queckfilber getriebenen Sprengel'fchen Pumpe (nach dem Principe des Waffertrommelgebläfes). *M* ein Manometer, welcher den Grad der Evacuation in dem Raume K^1 B K^2, *l, l'* angibt. Das cylindrifche Röhrchen *B* ift links mit einem fehr dünnen Gypspfropf verfchloffen und nimmt auf dem Tellerrande die zu prüfende pflanzliche oder thierifche Membran auf. In dem Raume *A* wird durch *a' a''* der Strom der Gafe ein-, durch *b' b''* ausgeleitet. Dieß kann für Atmofphäre mit einem zweiten Waffertrommelgebläfe bewirkt werden.

---

[1]) 1° **Mechanische Theorie der Gase.**

Denken wir uns unter dem Drucke der Atmofphäre, alfo des Barometerftandes, zwei gleiche Gasbehälter mit verfchiedenen Gafen gefüllt, den einen mit *H,* den andern mit *O,* fo ift experimentell beftimmt, daß das Gewicht der Gasmaffe im einen zu dem des andern fich verhält wie *1 : 16.*

Betrachten wir nun die vier wichtigften Gafe CO_2, *H, O, N* und denken uns vier gleicheingerichtete Gefäße mit gleichem Volum, in jedes Gefäß eines der vier Gafe bei gleichem Druck und gleicher Temperatur gefüllt, fo verhalten fich die Gewichte wie

$$H : N : O : CO_2$$
$$1 \quad 14 \quad 16 \quad 22.$$

Man nennt diefe Gewichte die fpecififchen Gewichte, bezogen auf *H* als Einheit. Diefelben drücken uns die Dichten der Gafe aus. Nehmen wir an, die Gafe befinden fich in den vier Gefäßen unter gleichem Druck und gleicher Temperatur, und erhöhen wir nun im einen Gefäß die Differenz einer fperrenden Queckfilberfäule um ein beftimmtes Maß, fo finden wir, daß das Volum im Recipienten abnimmt, das Gas wird comprimirt; ftellen wir in allen Gefäßen diefe Differenz her, fo finden wir, daß die Volume aller gleich werden, d. h. daß gleichem Druck bei allen gleiche Volume entfprechen. Denken wir uns vier gleichvolumige Röhren in 273 gleiche Theile getheilt und bei conftantem und gleichem Druck für alle vier Apparate $^1/_{273}$ der einen Röhre mit *H,* der andern mit CO_2, der andern mit *O,* der letzten mit *N* gefüllt, fo können wir durch Verfchieben der Röhre *A* in dem mit *Hg* gefüllten Cylinder bei jedem Temperaturgrad das Volum meffen bei conftantem Druck. Man hat gefunden, daß das Volum der Temperatur für alle Gafe direct proportional fei und daß bei der Erhöhung oder Verminderung der Temperatur um 1° C. dasfelbe um $^1/_{273}$ zu- oder abnimmt. Daraus ift die Definition des abfoluten 0-Punktes der Temperatur und der abfoluten Temperatur leicht herzuleiten.

Hat das Manometer durch den Betrieb der rechts ſtehenden SPRENGEL-ſchen Pumpe eine beſtimmte Höhe erreicht, ſo ſchließt man die letztere und beobachtet die Zeit, welche nöthig iſt, bis der Spiegel in *M* um einen gegebenen Niveauunterſchied geſunken iſt, dadurch, daß Gaſe aus *A* durch die Membran nach *B* getreten ſind. Auf dieſe Weiſe können die Zeiten leicht beſtimmt werden, welche gleiche Volume verſchiedener Gaſe bei gleichem Druck und gleicher Temperatur brauchen, um gleiche Membranflächen verſchiedener Natur zu paſſiren (man vergleiche die Tabelle S. 208).

Aus dem GAY-LUSSAC-MARIOTTE'ſchen Geſetz iſt AVOGADRO zu der Annahme gelangt, daß in gleichen Volumen verſchiedener Gaſe bei gleichem Druck und gleicher Temperatur dieſelbe Anzahl von Moleculen enthalten ſei. Das ſpecifiſche Gewicht iſt darum auch das Moleculargewicht der Gaſe, d. h. das Gewicht eines Moleculs in dem Gas.

Nach den jetzt herrſchenden chemiſchen Theorieen hat man dann aber noch zu unterſcheiden zwiſchen Atom und Molecul.

1⁰ Verbindet man nämlich *Cl* und *H* z. B., ſo findet man, daß die Volume von beiden gleich ſind, es gehen alſo gleichviel Molecule nach der AVOGADRO'ſchen Anſicht von dem einen wie dem andern Gas in die neue Verbindung ein.

2⁰ Verbindet man hingegen *O* und *H* zu Waſſer, ſo findet man, daß zwei Molecule (beziehentlich zwei Vol.) *H* mit einem Molecul (beziehentlich Vol.) ſich verbinden.

Nach dieſem nennt man *Cl* und *H* einwerthig, *O* und *N* beziehentlich zwei- und dreiwerthig.

Das Molecul der elementaren Gaſe enthält zum Mindeſten zwei Atome:

Wir verbinden z. B. ein Volum *H* und ein Volum *Cl* zu *ClH*. Aus den zwei Volumen *Cl* und *H* entſtehen aber zwei Volume *ClH*; wenn nun nach der Annahme, daß in allen Gaſen in gleichem Volum bei gleichem Druck und gleicher Temperatur gleichviel Molecule vorhanden ſeien, verfahren würde, ſo käme man jetzt in den zwei Volumen *ClH* offenbar nicht aus, denn aus den *n* Moleculen *H* und *n* Moleculen *Cl* entſtünden nur *n* Molecule *ClH* in demſelben Volum, welches vorher von zwei *n* Moleculen ausgefüllt war. Wir ſtellen uns daher vor, der *H* beſteht aus zwei Atomen und ebenſo das *Cl*, und bei der chemiſchen Verbindung tritt eine Zerlegung der Molecule ein, ſo daß jetzt zwei Molecule *ClH* reſultiren. Nur auf dieſe Weiſe iſt es möglich, daß wenn vor der Verbindung zwei *n* Molecule in den zwei Volumen enthalten waren, nach derſelben ebenfalls zwei *n* Molecule denſelben Raum erfüllen.

Wir haben ein Volum *O* und zwei dieſer Volume Waſſerſtoff vor der Verbindung zu Waſſer. Nach dieſer erhalten wir aber nur zwei Volume Waſſerdampf.

Vor der Verbindung des *N* und *H* zu NH_3 haben wir bei gleichem Drucke und gleicher Temperatur ein Volum *N* und drei ſolcher Volume *H*. Nach der Verbindung aber zwei Volume des Dampfes von NH_3.

2⁰ Gasdiffusion.

Verbindet man zwei unter gleichem Druck und Temperatur ſtehende, aber mit verſchiedenen Gaſen gefüllte Recipienten, von welchen der eine Sauerſtoff, der andere Waſſerſtoff enthalten möge, miteinander und unterſucht nach einiger Zeit das Gemiſch, ſo findet man, daß ſich die Gaſe gegenſeitig durchdrungen haben. *H* iſt nach *O*, *O* nach *H* getreten. Noch beſſer wird man dieſe Durchdringung durch Uebereinanderſchichten zweier Gaſe nachweiſen, von welchen eines gefärbt iſt.

c) Diffuſion und Abſorption im Laubblatt[1]).

Laubblätter und belaubte Zweige tauchen in einem Gasocean, in welchem durch den Wind ſtete Druckſchwankungen hervorgebracht werden. Durch den Wechſel in der Beſtrahlung müſſen ſtetig ſtärkere oder ſchwächere Gasſtröme in dem einen oder anderen Sinne herrſchen.

Steigt der Barometerſtand in der Atmoſphäre, ſo muß ein Strom durch die Spalten nach dem Innern der Pflanze den Druckunterſchied ausgleichen, ſinkt derſelbe, ſo herrſcht ein entgegengeſetzt gerichteter Strom. Erwärmt ſich durch Strahlung das Blatt, ſo werden die Gaſe zum Theil nach außen dislocirt, ſinkt umgekehrt die Temperatur, ſo dringen Gaſe in die Binnen-Lufträume ein. Mit Hilfe des Apparates, Fig. 206, laſſen ſich die hiereinſchlägigen Phänomene leicht ſtudiren. Derſelbe beſteht aus zwei Glasrecipienten. Einer derſelben nimmt das Laubblatt auf, welches an einem in den Recipienten *A* mündenden Rohr mit dem Blattſtiel befeſtigt iſt. Die beiden Recipienten *A* und *B* ſind durch einen Differenzen-Manometer getrennt. Von dem Schenkel derſelben, welcher mit *A* in Verbindung ſteht, geht ein Rohr nach *B*. Ein anderes Rohr führt zum Hahn c''' und kann durch dieſen mit dem Vacuum einer Pumpe *C* in Verbindung gebracht werden.

Mögen die Hähne c'' und c''' zunächſt geſchloſſen ſein und ein Laubblatt verſchließe luftdicht die Mündung der Spindel im Recipienten *A*, ſo communiciren die Gastheile des Recipienten *B* mit Binnenräumen des Blattſtieles. Die äußerſten Mündungen, die Spalten in der Blattfläche aber ſtehen in Verbindung mit dem Gaſe im Recipienten *A*.

[1]) Pringsh. Jahrb. Bd. VIII. N. J. C. Müller, Diffuſion der Gaſe.

Die Bewegung der freien Gastheilchen, auf die wir durch ſolche Erfahrungen ſchließen, nennen wir die Diffuſion der Gaſe. Mißt man die Schnelligkeit dieſer Bewegung, ſo findet man, daß ſie bei chemiſch verſchiedenen Gaſen verſchieden groß iſt. Verſchließen wir zwei Röhren mit einem dünnen Gypspfropf und füllen die eine mit *H*, die andere mit CO_2, ſperren beide Röhren mit Waſſer und laſſen den Gypspfropf mit der Atmoſphäre in Berührung, ſo ſehen wir, daß in der mit *H* gefüllten das Waſſer ſteigt, während es in der mit CO_2 gefüllten ſinkt. Daraus geht hervor, daß von dem Waſſerſtoff in derſelben Zeit mehr in die Atmoſphäre entweicht, als von dieſer durch den Gyps in das Rohr eintritt. Bei der CO_2 iſt der Vorgang umgekehrt, hier geht weniger CO_2 heraus, als Atmoſphäre herein.

Im Allgemeinen findet man bei einer ſolchen Bewegung der Gaſe durch poröſe, trockene Maſſen, daß die leichteren ſich raſcher bewegen.

Das Experiment hat nun in Uebereinſtimmung mit der Theorie eine beſtimmte Abhängigkeit der Geſchwindigkeit verſchiedener Gaſe von ihrem Gewicht nachgewieſen. Das Geſetz, welches dieſes ausdrückt, ſagt aus: daß die Geſchwindigkeiten umgekehrt proportional ſind den Quadraten aus den ſpecifiſchen Gewichten (reſp. Moleculargewichten).

Gypsſtuck, Graphyt, Thonmaſſe ſind poröſe Körper, deren Poren ſo eng ſind, daß eben nur die Gastheilchen einzeln hindurch paſſiren. Läßt man nun durch einen genügend

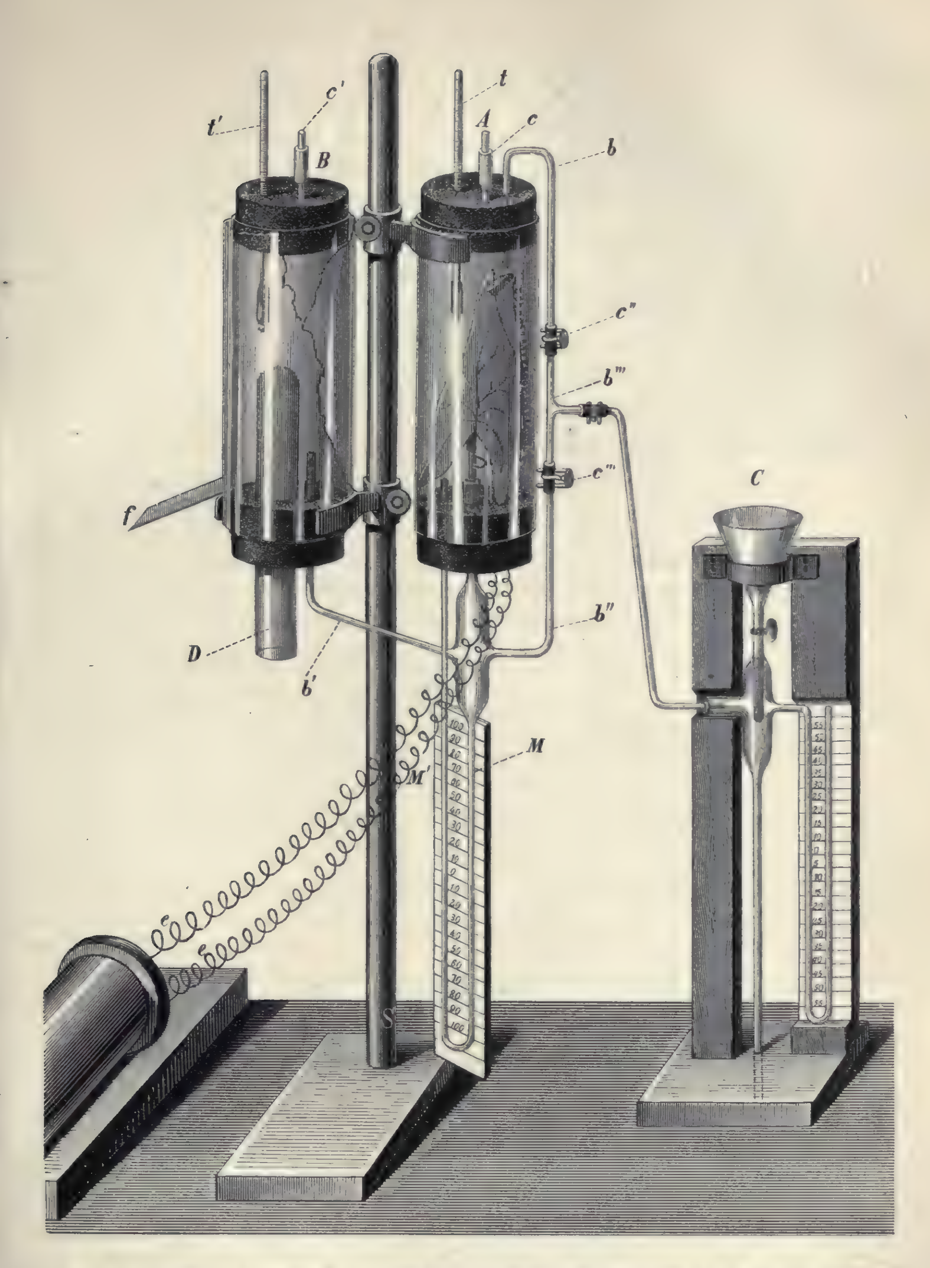


Fig. 206. Vorrichtung zum Studium der Gasströme im Laubblatte. Zwei Recipienten *A B*, jeder mit einem Thermometer *t t'* und einem Ventil *c c'*, find fo verbunden, daß der Druck in *B* am Spiegel *M*, der Druck von *A* am Spiegel *M'* eines Differenzenmanometers abgelefen werden kann. In der Verlängerung der Röhre *M* wird das Laubblatt befeftigt. Beide Recipienten find noch mit der Sprengel'fchen Pumpe *C* in Verbindung, wird das Ventil *c''* geöffnet, fo evacuirt diefe den Recipienten *A*, wird *c'''* geöffnet, fo evacuirt fie den Recipienten *B*. In *D* ein Stempel, welcher ausgezogen oder eingefchoben werden kann. In den Recipienten *A* führen die Electroden *e e*.

Schiebt man nun den Stempel *D* in den Recipienten *B* hinein, ſo ſinkt der Spiegel der Sperrflüſſigkeit in *M*, der in *M'* ſteigt, d. h. der Druck in *B* iſt größer wie in *A*; ein Gasſtrom geht jetzt durch das Blatt von *B* nach *A*. Die Spiegel nähern ſich, der Druckunterſchied zwiſchen *A* und *B* gleicht ſich aus.

Umgekehrt verläuft der Vorgang, wenn in einem zweiten Verſuch *D* herausgezogen wird. Es geht alsdann ein Gasſtrom von *A* nach *B*.

In den Recipienten *B* laſſen ſich nacheinander verſchiedene Gaſe einführen und auf ihre Diffuſibilität unterſuchen.

Durch den Kautſchukverſchluß in *A* ſind 2 Kupferdrähte, an deren Enden Platinelectroden befeſtigt, eingeführt, welche den Pflanzentheil in zwei Punkten berühren. Schließt man den electriſchen Strom, ſo erfährt die Pflanze Inductionsſchläge, welche nach einigen Minuten die Spalten ſchließen, während der Gasſtrom aus einem nach dem anderen Recipienten, in der angegebenen Weiſe unterhalten wird.

---

dünnen Pfropf die verſchiedenen Gaſe hindurchgehen und zwar bei gleichem Druck und gleicher Temperatur, ſo findet man, daß die Zeiten, die erforderlich ſind, um das gleiche Volum *H, N, O*, CO_2 hindurch zu laſſen, ſich ſehr näherungsweiſe direkt verhalten, wie die Quadrate aus den ſpecifiſchen reſp. Moleculargewichten. Da nun die Geſchwindigkeiten ſich nach dem oben ausgeſprochenen Geſetz umgekehrt verhalten wie dieſe Zeiten, ſo iſt damit der experimentelle Nachweis für die Richtigkeit des Geſetzes dargethan.

Name.	Molecular-gewicht.	Durchgangs-zeiten.	Geſchwindigkeit aus $\frac{1}{d^2}$.	Weg der Molecule in einer Sec. bei 0⁰ C.
H	1	1	1	1844 m
N	14	196	0,005152	492 »
O	16	256	0,003946	461 »
CO_2	22	484	0,002086	—
I.	II.	III.	IV.	V.

3⁰ Der Gasdruck.

Den Druck der Gaſe faßt man auf als die Summe aller Stöße gegen den feſten Körper oder die Sperrflüſſigkeit, welche das Gas einſchließen. Es beſteht nun folgende allgemeine Beziehung zwiſchen Druck p, Temp. $(t + 273^0)$ und Volum v. Für jedes Gas nimmt der Druck zu, wenn das Volum verkleinert wird, die Temperatur aber conſtant bleibt. Ebenſo wächſt der Druck, wenn das Gas erwärmt und das Volum conſtant erhalten wird, und zwar iſt:

der Druck umgekehrt proportional dem Volum und direct der von -273^0 an gerechneten Temperatur. Dieß wird durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$\frac{p'}{p''} = \frac{v''\,(273 + t')}{v'\,(273 + t'')}.$$

Denken wir uns in einem Cylinder mit verſchiebbaren Kolben irgend ein Gas *H*, CO^2, *O* oder *N* und von der Temperatur *T*, wo *T* jetzt die abſolute Temperatur vorſtellen möge, ſo wird das Gas ein beſtimmtes von *T* abhängiges Volum einnehmen.

Man hat es ſo in der Gewalt, Diffuſions-, reſp. Effuſions- oder Abſorptionsſtröme in dem Blatte herzuſtellen.

Verſuch I. (PRINGSH. Jahrb. VIII. S. 105 ff.)

Die erwärmten Gaſe wurden bei 20⁰ durch das Pflanzenblatt getrieben, bei einer Druckdifferenz von 80 mm in 60 Secunden.

Bei minus 10⁰ C. aber wurden für dieſelbe Operation 660 Secunden beanſprucht. (PRINGSH. Jahrb. a. a. O. S. 111.)

Verſuch II.

Das Blatt wird durch Inductionsſchläge gereizt, vor der Reizung erfordert ein Gasſtrom 180 Secunden, nach einigen Minuten erfordert derſelbe Strom 300 Secunden.

Legt man auf den Stempel zu p' ein neues Gewicht, ſo wird ein neues, kleineres Volum erlangt, und die Volume und Drucke verhalten ſich, wie:

$$\frac{p'}{p''} = \frac{v''}{v'}.$$

In unſerem Falle iſt das Verhältniß ein ächter Bruch. Laſſen wir jetzt den Druck conſtant p und führen dem Gaſe, welches im erſten Zuſtande die Temperatur T' hatte, Wärme zu, ſo daß T' zu T'' heranwächſt, ſo wird v' zu v''. Die Drucke ſind aber für beide Zuſtände dieſelben geblieben, es folgt daraus, daß:

$$\frac{p'}{p''} = \frac{v''\,T'}{v'\,T''} = 1$$

ſein muß. Da nun $\frac{v''}{v'}$ größer wie eins iſt, ſo muß nothwendiger Weiſe $\frac{T'}{T''}$ kleiner wie eins ſein. Dieſe Gleichung ſagt alſo aus: Um einen und denſelben Druck in einem Gas zu erhalten, muß die kleinere Temperatur mit dem größeren Volum, die größere Temperatur mit dem kleineren Volum multiplicirt werden. Um nun dieſes «MARIOTTE'ſche Geſetz» $\left(\frac{p'}{p''} = \frac{v''}{v'}\right)$ aus der Theorie der Stöße abzuleiten, denken wir uns einen cubiſchen Raum mit Gas gefüllt, in welchem n Molecule enthalten ſind. Iſt q der Querſchnitt, h die Höhe des Behälters, ſo iſt $v = q\,h'$.

Auf ein Cubikelement kommen davon $\frac{n}{q\,h'}$ Molecule, auf ein Längenelement

L' kommen $\sqrt[3]{\frac{n}{q\,h'}}$ Molecule.

Der Druck auf die Quadrateinheit F wird proportional ſein der Anzahl der Stöße der in ihr befindlichen Molecule; ſodann aber auch proportional der Zahl der in der Längeneinheit befindlichen, d. h. es kommt nicht allein darauf an, wie viel Molecule auf einmal auf das Flächenelement treffen, ſondern auch, wie oft dieß geſchieht. Die Gleichung, welche dieß ausſpricht, lautet:

$$\frac{p'}{p''} = \frac{F'}{F''} \cdot \frac{L'}{L''}.$$

Nun iſt aber $L' = \sqrt[3]{\frac{n}{q\,h'}}$ und daraus $F' = \left(\sqrt[3]{\frac{n}{q\,h'}}\right)^2$. Wird nun durch die Volumvergrößerung die Höhe h'' hergeſtellt, ſo erhalten wir:

Versuch III.

Füllt man den einen Recipienten A mit Atmosphäre, den anderen B mit Kohlensäure, während in dem Apparat das Blatt in dem Recipienten A eingeschaltet ist, so diffundirt die Kohlensäure von B nach A. Der Spiegel in M hebt sich, der in M' sinkt. Jetzt wird durch die chemische Differenz der beiden Gase ein Druckunterschied hergestellt, welcher lediglich von der Molecularbewegung der Gase abhängt.

d) Verdunstung am Blatte.

Die Wassermenge, welche von der Flächeneinheit einer gegebenen Membran bei gegebener Temperatur und gegebenem Drucke abdunstet, ist die Verdunstungsgröße. Dieselbe ist für alle cuticularisirte Flächen kleiner, wie für die nicht cuticularisirten Membranen, welche an die Binnenlufträume grenzen. Die Spaltöffnungen spielen somit bei der Verdunstung eine ähnliche Rolle, wie bei dem Verkehr der atmosphärischen Gase.

---

9)
$$\frac{p'}{p''} = \frac{\left(\sqrt[3]{\frac{n}{qh'}}\right)^2}{\left(\sqrt[3]{\frac{n}{qh''}}\right)^2} \cdot \frac{\sqrt[3]{\frac{n}{qh'}}}{\sqrt[3]{\frac{n}{qh''}}} = \frac{\frac{n}{qh'}}{\frac{n}{qh''}} = \frac{qh''}{qh'} = \frac{v''}{v'}.$$

Dieß ist aber nach Früherem der Ausdruck für das MARIOTTE'sche Gesetz.

Um von derselben Theorie aus auch das GAY-LUSSAC'sche Gesetz $\left(\frac{v'}{v''} = \frac{T'}{T''}\right)$ abzuleiten, denken wir uns einen Würfel, in welchem n Molecule sich bewegen und nehmen folgende Sätze über den Stoß elastischer Körper zu Hilfe:

1° Zwei gleiche elastische Kugeln von gleicher Masse tauschen beim centralen Stoß ihre Geschwindigkeiten aus.

2° Wenn eine elastische Kugel von der Masse m und der Geschwindigkeit c eine unendlich große elastische Masse M trifft, so übt sie auf diese eine bewegende Kraft $2\,mc$, die stoßende wird reflectirt, erhält dieselbe aber umgekehrte Geschwindigkeit $-c$. In unserem Würfel stoßen auf die Wand A im gegebenen Zeitpunkt $\frac{n}{6}$ Molecule.

Jedes Molecul übt die Kraft $2\,mc$, wo m seine Masse. Die Wand erhält also in der Secunde, wenn α die Anzahl der Hin- und Hergänge in der Secunde, die bewegende Kraft: $K_A = 2\,m\,c\,\alpha\,\frac{n}{6} = \frac{m\,\alpha\,c\,n}{3}$. Die nicht centralen Stöße werden hier nicht in Betracht gezogen.

Ist τ die Zeit, in welcher der Weg $A\,B = a$ einmal durchlaufen wird, so ist $c\,\tau = a$. Nach der Zeit $2\,\tau$ stößt dasselbe Molecul zum zweitenmal, wenn es vorher nicht carambolirte. Stößt es central eines der Theilchen von gleicher Masse, so bleibt das Resultat nach Satz I dasselbe. Die Wand erhält in der Secunde (resp. Zeiteinheit) von einem Theilchen α Stöße.

Die Verdunſtung iſt für die ſpaltenführende Unterſeite eines Blattes größer wie für die ſpaltenfreie Oberſeite. UNGER bringt zwei gleichgroße Recipienten ſo an dem Blatte an, daß in einem Chlorcalcium-führendenGefäß des einen Recipienten die abdunſtenden Waſſertheilchen der Oberfläche, in einem anderen aber diejenigen der Unterfläche condenſirt werden. Durch Wägung der Chlorcalciumgefäße wird die Verdunſtungsgröße der beiden Flächen beſtimmt, Fig. 207.

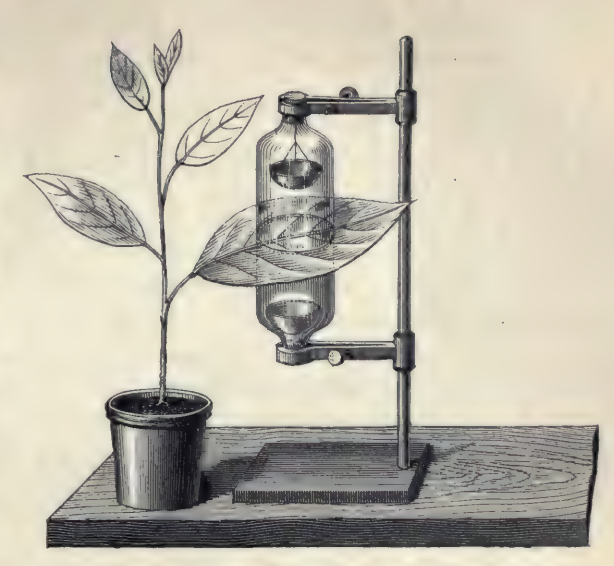


FIG. 207. UNGER's Apparat zum Nachweis, daß die Verdunſtungsgröße nach der Unterſeite größer iſt, wie nach der Oberſeite.

$$\alpha = \frac{1}{2\tau} = \frac{c}{2a},$$

weil, wenn eben das Theilchen einmal geſtoßen hat, es nach 2τ zum zweiten Mal dieſelbe Wand ſtößt, τ iſt jedenfalls kleiner als die Einheit der Zeit (1 Secunde), alſo α größer.

Dieſen Werth in K_A geſetzt kommt:

$$K_A = \frac{m c^2 n}{6a}.$$

Auf die Flächeneinheit a^2 kommt die Kraft K_A, weil K_A durch a^2 dividirt war,

$$K_A = \frac{n m c^2}{6a^3} \text{ oder } K_A = \frac{n m c^2}{6v} \text{ ergiebt.}$$

Mit dieſer Kraft K drückt das Gas, ſo daß die eine Wand von der entgegenliegenden entfernt würde, wenn ſie verſchiebbar wäre. Auf die Grundfläche drückt aber dieſelbe Kraft K_A nach der entgegengeſetzten Richtung, die Summe beider iſt $= p$.

$$p = K'_A + K''_A = 2 K_A = \frac{2 n m c^2}{6v} = \frac{n m c^2}{3v}.$$

Bleibt alſo das Volum conſtant und werden die Drucke dadurch geändert, daß dem Gas Wärme (reſp. Bewegung) zugeführt wird, ſo verhalten ſich die Drucke, wie:

$$\frac{p'}{p''} = \frac{\frac{n m C'^2}{3v}}{\frac{n m C''^2}{3v}}$$

10)

$$\frac{p'}{p''} = \frac{\frac{m c'^2}{2}}{\frac{m c_{''}^2}{2}},$$

weil die Anzahl aller Molecule und $3v$ bei der Diviſion wegfallen.

Verdunſtung am Blatte.

	Oben.		Unten.	
	Spalten.	Verdunſt.	Spalten.	Verdunſt.
Atropa	10	48	55	60
Nicotiana ruſtica	15	57	20	80
Tilia europæa .	0	20	6	49

Die Spaltöffnungen reguliren ſomit auch die Verdunſtung, indem ſie durch Schließen die verdunſtende Innenfläche außer Thätigkeit ſetzen, durch Oeffnen aber das verdunſtende Areal auf das 13fache bis 20fache der einfachen Blattfläche vergrößern.

e) Verdunſtung der Blattflächen verſchiedener Entwickelung.

Von Weinblättern, welche in verſchiedener Phaſe der Entwickelung ſtehen, werden ſechs in gleichen Gefäßen bei mittlerer Temperatur der Verdunſtung ausgeſetzt, die Blattfläche wird auf gleichmäßiges, photogra-

---

Da nun nach dem Gay-Lussac'ſchen Geſetz die Volume der Gaſe um $\frac{1}{273}$ zu- oder abnehmen bei Erhöhung oder Erniedrigung um 1^0 C., ſo erhalten wir, wenn p^0 der Druck bei O^0 iſt:

$$11)\qquad \frac{p'}{p''} = \frac{p^0 + \frac{t'}{273}\cdot p^0}{p^0 + \frac{t''}{273}\cdot p^0} = \frac{p^0\,(273 + t')}{p^0\,(273 + t'')} = \frac{T'}{T''},$$

d. h. die Drucke verhalten ſich bei einem conſtanten Gasvolum bei verſchiedener Temperatur direct proportional, wie dieſe Temperaturen:

Aus 10) und 11) folgt dann:

$$\frac{\frac{m\,c_{,}^2}{2}}{\frac{m\,c_{,,}^2}{2}} = \frac{T'}{T''},$$

d. h. die lebendige Kraft der fortſchreitenden Bewegung der Molecule iſt direct proportional der abſoluten Temperatur.

Aus 11) und 9) erhalten wir noch:

$$\frac{p'}{p''} = \frac{v''}{v'}\,\frac{T'}{T''} \text{ oder } \frac{v'\,p'}{v''\,p''} = \frac{T'}{T''},$$

das vereinigte Mariotte-Gay-Lussac'ſche Geſetz.

Die lebendige Kraft der Molecularbewegung iſt für verſchiedene Gaſe bei gleicher Temperatur gleich groß und der abſoluten Temperatur proportional.

$$12)\qquad \frac{\frac{m'\,c'^2}{2}}{\frac{m''\,c''^2}{2}} = \frac{T'}{T''}.$$

Denken wir uns nun von zwei chemiſch verſchiedenen Gaſen zuerſt in zwei mit Kolben verſehenen Cylindern gleiche Volume bei gleichem Druck und gleicher Temperatur, ſo ſind in jedem Volum n Molecule, die einen nennen wir n', die andern n''; n' kann $>$ oder $<$ als n'' ſein; dann beſteht alſo noch die Folgerung aus unſerer Discuſſion, daß die Drucke bei irgend einer Aenderung in den zwei Cylindern ſich verhalten, wie die Anzahl der

phiſches Papier abgezogen, aus der Wägung der Papierſilhouetten wird die Relation der Flächen und die verdunſtete Waſſermenge berechnet.



FIG. 208. In dieſer Figur ſind die abſoluten Größen von 6 verſchiedenaltrigen Weinblättern verzeichnet und in jeder Fläche die Flächeneinheiten durch Quadrate verzeichnet, welche die gleiche Waſſermenge in gleicher Zeit verdunſten, in 1 dem jüngſten iſt eine Flächeneinheit, in 2 *1,22*, in 3 *3,5*, in 4 *4,54*, in 5 *4,44*, in 6 *6,66* Flächeneinheiten nöthig.

Molecule $\frac{p'}{p''} = \frac{n'}{n''} \cdot \frac{v''}{v'} \cdot \frac{T'}{T''}$. Dieſer Fall ſchließt auch noch die AVOGADRO'ſche Regel ein.

4⁰ **Relative Geschwindigkeit der Molecularbewegung bei verschiedenen Gasen.**

Aus der früheren Gleichung für die Bewegung eines Gaſes bei verſchiedener Temperatur:

$$\frac{m\,c'^2}{m\,c''^2} = \frac{T'}{T''} \text{ folgt } \frac{c'^2}{c''^2} = \frac{\sqrt{T'}}{\sqrt{T''}},$$

d. h. die Moleculargeſchwindigkeiten eines Gaſes verhalten ſich wie die Wurzeln aus den abſoluten Temperaturen.

Aus der Gleichung 12 können wir aber noch die relative Geſchwindigkeit zweier verſchiedener Gaſe für eine beſtimmte Temperatur finden. Es folgt aus ihr, wenn $T' = T''$ geſetzt wird:

Hieraus berechnen ſich zunächſt die Blattflächen, aus den früheren Daten die Verdunſtungsgrößen, beide ſind in der folgenden Tabelle verzeichnet:

Abſolute Fläche des ganzen Blattes. qcm	Verdunſtung auf die Flächeneinheit 100 qcm.
44,33	2,797 cc
49,20	1,823 »
21,70	2,489 »
12,73	3,486 »
5,195	9,863 »
1,986	12,09 »

Aus dieſem Verſuche geht hervor, daß die Verdunſtungsgröße eines Blattes während der Evolution aus dem Zuſtand *I* nach dem Zuſtand *IV*, Fig. 209, bezogen auf die Flächeneinheit und dieſelben äußeren Agentien (Druck, Temperatur, Tenſion des Dampfes) mit der Evolution ſinkt, um ſpäter wieder zu wachſen. Es beruht dieß zum Theil darin, daß die Mem-

---

$$\frac{\frac{m' c'^2}{2}}{\frac{m'' c''^2}{2}} = 1, \text{ mithin } m' c^2 = m'' c''^2,$$

d. h. die lebendige Kraft verſchiedener Gaſe iſt bei gleicher Temperatur gleich.

Da nun m' und m'' nicht gleich ſind, ſo müſſen auch c' c'' ungleich ſein, da ferner m' m'' leicht zu berechnen ſind, ſo müſſen auch c' c'' leicht zu berechnen ſein. Es folgt zunächſt:

$$\frac{c'}{c''} = \frac{\sqrt{m''}}{\sqrt{m'}},$$

d. h. bei gleichen Temperaturen verhalten ſich die Geſchwindigkeiten verſchiedener Gaſe umgekehrt proportional den Quadratwurzeln aus ihren Maſſen.

Wenn nun g die Beſchleunigung der Schwere und M' M'' . . . die betreffenden Moleculargewichte der Gaſe darſtellen, ſo iſt $m' g = M'$; $m'' g = M''$. ; . u. ſ. f. Hieraus wird $\frac{\sqrt{m''}}{\sqrt{m'}} = \frac{\sqrt{M''}}{\sqrt{M'}}$, und dieß in die Gleichung für $\frac{c'}{c''}$ eingeſetzt, kommt

$$\frac{c'}{c''} = \frac{\sqrt{M''}}{\sqrt{M'}},$$

d. h. bei gleicher Temperatur verhalten ſich die Geſchwindigkeiten umgekehrt proportional wie die Quadratwurzeln aus ihren Moleculargewichten.

5° **Die absoluten Geschwindigkeiten**

laſſen ſich berechnen aus der Gleichung:

$$\frac{c'}{c''} = \frac{\sqrt{M''}}{\sqrt{M'}} \text{ und aus } p = \frac{n m c^2}{3 v}.$$

branen der freien Außenfläche ſich immer mehr verſtopfen. Die Verdunſtungsgröße ſinkt ſonach von 4) nach 5). Bald aber kommt das Blatt in die Phaſe 5) nach 6), (Fig. 209), wo die Binnenlufträume, die innere Oberfläche und die Spalten der Epidermis eine Rolle ſpielen: die Verdunſtungsgröße ſteigt wieder, erreicht aber nie mehr die Größe der früheren Phaſen.

f) Verdunſtung einer Blattfläche bezogen auf eine gleichgroße Waſſerfläche.

Um das Verhältniß der Verdunſtung von der Blattfläche und einer nackten Waſſerfläche näherungsweiſe zu beſtimmen, wurden an einem Ort, an welchem die Temperatur 18° betrug, zwei Gefäße von cylindriſchem Querſchnitt aufgeſtellt. In das eine Gefäß, deſſen verdunſtende Fläche 3840 Quadratmillimeter betrug, wurde ein Blatt von Hæmanthus puniceus geſtellt, deſſen verdunſtende Flächen, die Ober- und Unterſeite zuſammengerechnet, 19350 Quadratmillimeter betrugen.

Es iſt die Maſſe der Gasmenge $n\,m = \frac{G}{g}$; wo G ihr Gewicht, g die Beſchleunigung durch die Schwere bedeuten:

$$p = \frac{G\,c^2}{g\,3\,r}\quad c^2 = \frac{p\,g^3\,r}{g}.$$

Um nun die Beſtimmung von c^2 auszuführen, wiſſen wir, daß der Druck der Atmoſphäre auf den Quadratmeter gleich 10334,5 kg. iſt. — Ein Kubikmeter Luft bei 0° C. und dem Druck von einer Atmoſphäre wiegt 1,2932 kg. Das Volum v von einem Kilogramm Luft iſt bei 0° und einer Atmoſphäre $= \frac{1}{1{,}2932}$ cbm $= 0{,}77328$ cbm, $g = 9{,}80896$ m. Wenn nun ρ das ſpecifiſche Gewicht des Gaſes bezogen auf die Atmoſphäre iſt, ſo iſt das Volum von einem Kilogramm des Gaſes bei $0^0 = \frac{0{,}77328}{\rho}$ cbm und bei T^0 iſt es: $v_T = \frac{0{,}77328}{\rho}\,\frac{T}{273}$, ſetzt man dieſe Werthe in die Gleichung für c^2, ſo erhält man:

$$c^2 = 3\,.\,\overset{\text{m}}{9{,}80896}\,.\,\overset{\text{kg}}{10334{,}5}\,.\,\overset{\text{cbm}}{0{,}77328}\,.\,\frac{T}{273\,\rho} = \frac{1}{\rho}\;235163\;\frac{T}{273}\ \text{und}\ c_T = 485\ \text{m}\sqrt{\frac{T}{273\,\rho}}.$$

Dieſe Gleichung kann auf eine bequeme Form gebracht werden, wenn man für ρ ſetzt $\frac{M}{28{,}94}$, wo M das Moleculargewicht bedeutet; es wird dann $c_T = 2609\ M\sqrt{\frac{T}{273\,M}}$, bei 0° C. ($T = 273$) erhält man für $O = 461$ m, $N = 492$ m, $H = 1844$ m.

6° **Absorption.**

Da die Gastheilchen der Atmoſphäre nicht allein als freie Molecule ſich in die Pflanze bewegen durch Oeffnungen, die in der Oberfläche derſelben beſtehen, ſondern auch die Außenwand da treffen, wo keine ſolche Oeffnungen ſich vorfinden, ſo iſt es wichtig, auch die Abſorptionserſcheinungen von Gaſen in Flüſſigkeiten zu betrachten. Auch wenn die Gaſe in Waſſer gelöſt ſind, bewegen ſie ſich noch und dunſten an der Oberfläche des Waſſers, den freien Gaszuſtand annehmend, ab. Dabei bewegen ſie ſich, aber

Die Fläche des zweiten Gefäßes war 7857 Quadratmillimeter und diefe verdunftete nach zwei Tagen 10,5 cc, während das andere Gefäß und die Blattflächen zufammen 20 cc abgaben. Daraus berechnet fich die Verdunftung für die Wafferfläche des Gefäßes, in welchem das Blatt ftand, zu $\frac{10{,}5}{7857}$ cc . 3840 = 5,131 und diejenige des Blattes zu 14,869. Das Verhältniß der verdunftenden Mengen aus der Einheit der Waffer und der Einheit der Blattfläche wie 1 : 0,0575.

g) Verdunftung einer Membran bezogen auf gleiche Wafferfläche.

Die Waffertheilchen werden von den Membrantheilen feftgehalten durch ähnliche, aber jedenfalls größere Molecularkräfte wie diejenigen, welche von Waffertheilchen zu Waffertheilchen wirken.

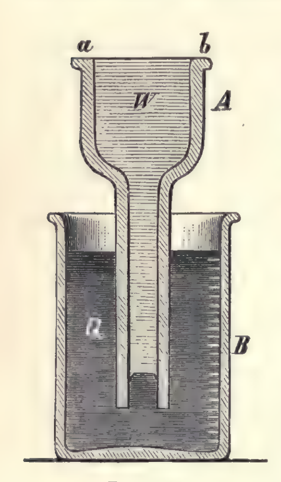


Fig. 209.

Die Verdunftung wird diefen Kräften umgekehrt proportional fein. Man wird eine annähernde Vorftellung von dem Verhältniß dieser Kräfte erhalten, wenn man die verdunfteten Waffermengen zweier gleicher Flächen vergleicht, welche unter gleichem Druck und gleicher Temperatur ftehen, von welchen die eine eine freie, während die andere eine durch eine Membran verfchloffene Wafferfläche ift. Ich wandte zwei möglichft gleichweite Röhren von der Geftalt *A*, Fig. 209, an, welche bis zum Rand mit Waffer gefüllt wurden. Das eine Gefäß wurde durch die Epidermis von Hæmanthus verfchloffen, das andere blieb offen.

Die Spiegel beider wurden nun auf das Niveau der Mündung *a b* gebracht durch Einfenken in das Queckfilber des Gefäßes *B* und dort durch jeweiliges Tieferfenken erhalten.

---

mit verfchiedenen Gefchwindigkeiten. Sie müffen fich deßhalb auch in der Pflanze, da wo diefe aus wäfferigen Löfungen befteht, verfchieden fchnell bewegen. Am beften kann man dieß experimentell nachweifen, wenn man an einem kleinen Gafometer ein Mundftück anfetzt, mittelft deffen man Seifenblafen anfertigen kann, welche das Gas des Gafometers aufnehmen.

Füllt man ein beftimmtes Volum unter gleichem Druck und bei gleicher Temperatur mit H und dann CO^2 in die Blafe, fo beobachtet man, daß die CO^2-Blafe rafch zufammenfinkt; die Wafferftoffblafe aber dehnt fich aus und platzt fchließlich. Diefe Erfcheinung kann nur fo gedeutet werden. Die Seifenblafe ift eine Zelle mit allfeitig gefchloffener gefpannter Waffermembran. Ift fie mit CO^2 gefüllt, fo entweicht ihr Inhalt rafcher in die Atmofphäre, als diefe durch die Membran eindringt. Ift fie dagegen mit H gefüllt, fo dringt die Atmofphäre umgekehrt rafcher ein, als der Wafferftoff entweicht. Es diffundirt alfo durch wäfferige Zellenwände die CO^2 rafcher. Dieß rührt aber offen-

Von dem Beginne bis zum Ende der Verſuchszeit wurde die durch das Einſenken verdrängte Queckſilbermaſſe durch Marken an dem Gefäß *B* gemeſſen; ſie entſpricht der verdunſteten Waſſermenge dem Volum nach, mit Berückſichtigung der durch das Glasrohr verdrängten Queckſilbermaſſe.

Die Dauer der Verſuchszeit war 90 Stunden, die Waſſermenge, welche aus dem freien Gefäß verdunſtete, betrug 3,2 ccm, diejenige aus der Membran 0,4 ccm.


Fig. 210.

Die von einer Membran begrenzte Waſſerfläche verhält ſich alſo näherungsweiſe ſo, wie wenn ſie von 32 Flächenelementen, deren 28 von einer für Waſſerdampf undurchdringlichen Wand bedeckt wären, während nur vier derſelben wie eine freie Waſſerfläche verdunſten, Fig. 210.

h) Verdunſtung gleicher Flächen der Innen- und Außenſeite[1]).

An zwei gleichen *U*-förmigen Röhren wird auf die Mündung die Epidermis von Hæmanthus ſo befeſtigt, daß an der einen Röhre die

[1]) N. J. C. Müller, Pringsh. Jahrb. Bd. VIII. — Derſelbe, Bot. Unterſ. C. Winter. Heidelberg. Bd. I. S. 541. — Unterſ. über den Widerſtand, den die Hautgebilde der Verdunſtung entgegenſetzen. Von Dr. L. Just. — Cohn, Beitr. Heft 3. S. 11. Breslau. 1875. J. U. Kern's Verlag.

bar in unſerem Falle daher, daß die CO^2 in Waſſer löslicher iſt, wie der Waſſerſtoff. Die Geſchwindigkeit der Diffuſion iſt alſo eine Folge der Verdunſtung an der äußeren Fläche der Waſſerſchicht, welche die Seifenblaſe bildet, und der Löslichkeit in der Waſſermembran. Da mehr CO^2-Theilchen in der gegebenen Waſſermaſſe gelöſt ſind, als H-Theilchen, können auch mehr in die Atmoſphäre abdunſten. Diejenige Menge Gaſes (bei 0^0 *C.* und *760 mm* Druck gemeſſen), welche in der Maßeinheit Waſſers ſich löſt bei t^0 und p mm Druck, iſt der Abſorptionscoëfficient des Gaſes für Waſſer. Derſelbe iſt abhängig von der Temperatur t, wird im Allgemeinen mit dem Wachſen von t kleiner und mit dem Wachſen von p größer.

Die abſorbirte Gasmenge in einem gegebenen Flüſſigkeitsvolum h kann dann immer für alle Drucke berechnet werden, wenn α der Abſorptionscoëfficient für die betreffende Temperatur t bekannt iſt. Iſt p der Druck, ſo iſt das Volum abſorbirten Gaſes

$$\frac{v\,p}{0{,}76} = \frac{v_1\,p^1}{0{,}76}.$$

Iſt z. B. in einem Gefäß h eine gegebene Flüſſigkeitsmenge, v das Gasvolum in dem Moment, wo die Flüſſigkeit mit demſelben in Berührung kommt, p der Druck, der auf dem Gas laſtet, ſo wird nach einiger Zeit p ſinken, das neue Volum v ſteht aber noch unter demſelben Druck. Die abſorbirte Gasmenge iſt alſo $\left(\frac{v - v'}{760}\right) P$.

Iſt P hierin $= 760$, nun ſo wird $\frac{P}{760}$ zur Einheit, d. h. aus dem abſorbirten Gas-

Exine nach dem Recipienten *G*, Fig. 211, während an der anderen die Intine verdunſtet, die *U*-Röhren werden mit Waſſer gefüllt. An dem an-

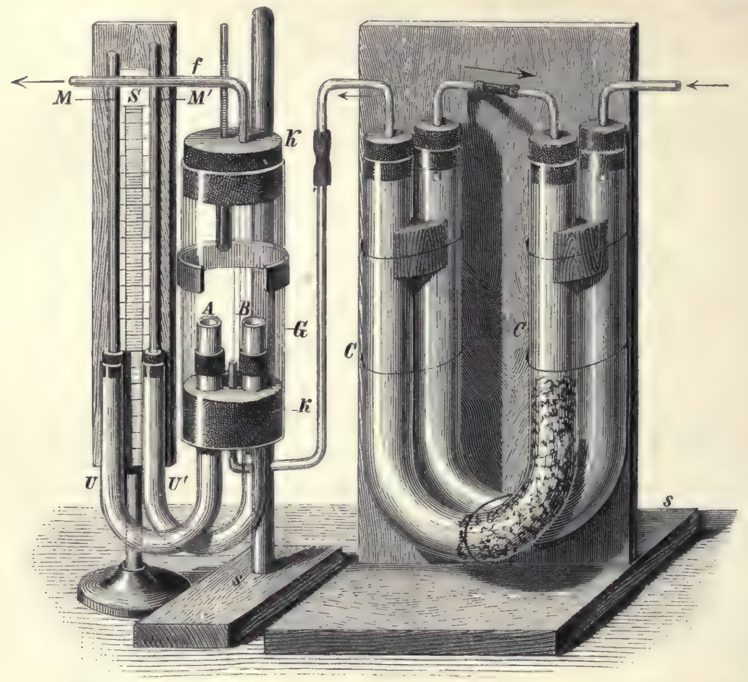


Fig. 211. Apparat um den Nachweis zu führen, daß die Epidermis ſtärker nach der Intine wie nach der Exine verdunſtet.

deren Schenkel derſelben wird die in gleicher Zeit und bei gleicher Temperatur verdunſtete Waſſermenge abgeleſen. Der Unterſchied der ver-

---

volum kann direct der Abſorptionscoëfficient gefunden werden, wenn $v - v'$, und h in cc angegeben ſind. Iſt P aber größer wie 760, ſo iſt auch α größer, iſt P kleiner, ſo wird auch α kleiner.

Bei der Beſtimmung der Abſorptionscoëfficienten wird allgemein ſo verfahren. Iſt v das Volum Gas vor der Abſorption unter dem Druck $760 - p$, h in cc das Volum Flüſſigkeit, v das Volum Gas nach der Abſorption durch h unter dem Druck p', ſo iſt:

$$\alpha = \frac{v\,760 - p}{760} - \frac{v_{,}\,760 - p_{,}}{760}$$

$$\left.\begin{array}{l} 760 - p = P \\ 760 - p' = P' \end{array}\right. \text{ geſetzt, ſo iſt } \alpha = \frac{v^{P} - v_{,}^{P'}}{760} \cdot \frac{1}{h}.$$

Es iſt klar, daß α unabhängig von dem Drucke iſt. Iſt dagegen ein beſtimmtes Flüſſigkeitsvolum h gegeben, ſo findet man die darin gelöſte Menge von einem beſtimmten Gas abhängig vom Druck; es iſt dieſe Menge $g = \frac{\alpha\, h\, P}{760}$ abhängig von P, iſt dieſer größer, ſo iſt auch g größer.

Sind in einem Volum v mehrere chemiſch differente Gaſe enthalten, ſo werden von dieſen in einem gegebenen Volume einer Flüſſigkeit h verſchiedene Mengen propor-

dunſtenden Menge ergab ſich, wenn die anfängliche Waſſermenge in $U\ U'$ gleich 100 geſetzt wird, für die Intine auf etwa 7 %, für die Exine 5 %.

i) Erguß von tropfbarem Waſſer in die Intercellularen des Blattes.

Bei den Keimpflanzen der Gräſer in ſpäter Keimphaſe, bei den Aroideen kommt es zum Erguß tropfbaren Waſſers in die Intercellularräume. Zwei Vorgänge müſſen hier unterſchieden werden:

1° Bei den Gräſern und kleinen einjährigen Pflanzen, welche ſtark beſtrahlt waren, tritt bei plötzlicher Abkühlung, nachdem die Beſtrahlung bei Sonnenuntergang aufhört, eine Contraction der erwärmt geweſenen Gewebe ein und es wird eine kleine Menge tropfbaren Waſſers an der Blattſpitze abgeſchieden. Ein Tröpfchen haftet und wächſt dort eine Zeit lang. Der Erguß iſt raſch ſiſtirt.

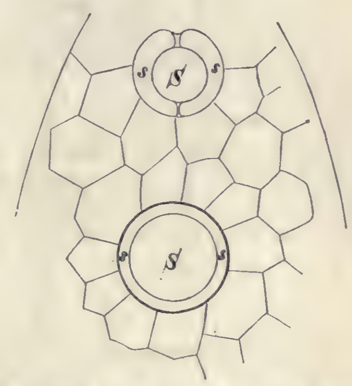


Fig. 212. 2 große Spalten mit ſtabilen Schließzellen in der Spitze des Colocaſienblattes.

2° Bei den Colocaſien kommt es zu einer lang andauernden Ausſcheidung von Waſſer in beſtimmter Phaſe der Entwickelung. An der Blattſpitze ſind dort mehrere ſehr große Spalten Fig. 212, welche ſich nicht ſchließen

---

tional dem Druck, welchen ſie einzeln ausüben, gelöſt. Sind in dem Geſammtvolum v

$v_{,}\ cc$ des einen Gaſes,
$v_{,,}\ cc$ eines zweiten,
$v_{,,,}\ cc$ » dritten,

und ſtehen alle unter dem Drucke $760 - P = P_{,}$, ſo iſt der Partialdruck jedes einzelnen Gaſes

$$\frac{v_{,}}{v} P_{,}\ ;\ \frac{v_{,,}}{v} P_{,}\ ;\ \frac{v_{,,,}}{v} P_{,}$$

und die abſorbirten Mengen ſind abhängig von $\alpha'\ \alpha''\ \alpha'''$, ferner von h und dieſen Drucken; ſie ſind $g'\ g''\ g'''$,

$$g' = h\,\alpha'\ \frac{v'}{v}\,\frac{P'}{760}$$
$$g'' = h\,\alpha''\ \frac{v''}{v}\,\frac{P'}{760}$$
$$g''' = h\,\alpha'''\ \frac{v'''}{v}\,\frac{P'}{760}$$

und hängen von dem Geſammtdruck $\frac{P'}{760}$ ab, wenn ſie gemeſſen werden ſollen.

Um alſo g zu berechnen, braucht man nur α aus den Bunsen'ſchen Tafeln für die entſprechende Temperatur zu nehmen.

können. Die beiden Schließzellen ſind nämlich zu 2 halbringförmigen Zellen herangewachſen, welche einen großen kreisförmigen Spalt dauernd umgrenzen (Fig. 212). Durch dieſen tropft das Waſſer bei günſtigen Temperaturbedingungen während vieler Tage ab. Die Bahn, welche das Waſſer nimmt, geht von dem äußerſten Nervenende, welches nur wenige Millimeter von den ſtabilen Spalten liegt, durch die Intercellularräume nach den beſprochenen Ausflußſtellen. Bei den Colocaſien tritt das Waſſer nur aus der Spitze.

Wir behandeln hier nun noch einen Fall, welcher bei dem Austauſch von Gaſen eintritt, welche von Waſſerpflanzen nach dem Waſſer ausgeſchieden werden.

Es ſei v_c ein gegebenes Volum Waſſer, in welchem ein beſtimmtes Volum CO_2 gelöſt ſei. v_o iſt eine, gleichgültig wie in den Apparat gebrachte Blaſe von O, der ſich mit der CO_2 im Waſſer in Austauſch ſetzt. Das Ganze ſteht unter dem Drucke P.

Nach einiger Zeit wird v_o nach oben gewandert ſein, und in dem Raum der Blaſe befindet ſich nicht mehr reiner O, ſondern ein Gemiſch von CO_2 und O. Der Partialdruck dieſes Gemiſches iſt, wenn wir mit $v_o - \chi_o$ den nicht abſorbirten Antheil von O, $v_c - \chi_c$ den abſorbirten Antheil von CO_2 bezeichnen, mit χ_o χ_c die abſorbirten Antheile, und dabei annehmen, die beiden Gasvolume v_o und v_c ſeien zuerſt unter dem Drucke P über dem gasleeren Waſſer befindlich:

$$P \cdot \frac{v_o - \chi_o + v_c - \chi_c}{v_o + v_c}.$$

Der Partialdruck des nicht abſorbirten O und des nicht abſorbirten CO_2, ſind dann

$$P \cdot \frac{v_o - \chi_o + v_c - \chi_c}{v_o + v_c} \cdot \frac{v_o - \chi_o}{v_o - \chi_o + v_c - \chi_c} =$$

$$P \frac{v_o - \chi_o}{v_o + v_c} \quad \text{und} \quad = P \frac{v_c - \chi_c}{v_o + v_c}$$

für den Sauerſtoff für die Kohlenſäure.

Die abſorbirten Volume χ_o χ_c ſind abhängig von α_o α_c v

$$\chi_o = P\alpha_o v \frac{v_o}{v_o + v_c} \qquad \chi_c = P\alpha_c\, v \frac{v_c}{v_o + v_c}$$

für den Sauerſtoff, für die Kohlenſäure.

Der Partialdruck des nicht abſorbirten Sauerſtoffes, bezogen auf das urſprünglich nicht abſorbirte Gemiſch von Kohlenſäure und Sauerſtoff, iſt dann

$$P \cdot \frac{v_o - \chi_o}{v_o + v_c - \chi_o - \chi_c} \cdot \frac{v_o - \chi_o + v_c - \chi_c}{v_o + v_c}.$$

Hierin iſt der erſte Bruch der Partialdruck des nicht abſorbirten Sauerſtoffes, bezogen auf denjenigen des nicht abſorbirten Gemiſches von Sauerſtoff und Kohlenſäure.

Der zweite iſt der Partialdruck des nicht abſorbirten Geſammtgemiſches, bezogen auf den Druck der Geſammtgasmaſſe $v_o + v_c$.

Der Partialdruck des Sauerſtoffes, welcher ſich über dem Waſſervolum v nicht abſorbirt vorfindet, iſt proportional dem Partialdruck, bezogen auf das nicht abſorbirte Gemiſch (von Kohlenſäure und Sauerſtoff) und proportional dem Partialdruck des nicht abſorbirten Gemiſches von O und CO_2, bezogen auf das urſprüngliche Geſammtvolum der Gaſe, die über dem gasleeren Waſſer gedacht wurden. Ebenſo findet man den Partialdruck der nicht abſorbirten CO_2 über dem Waſſer und daraus die Volume.

Hieraus läßt ſich leicht einſehen, daß jedes Gas von kleinerem Abſorptionscoëfficienten für Waſſer, bei dem Eintritt in Waſſer, welches mit einem löslicheren Gaſe geſättigt iſt, dieſes letztere dislocirt, von den Waſſertheilchen frei macht.

Die Rebe läßt im Versuch aus der Spitze jedes Blattzahnes Wasser tropfen, wenn man in einen Sproß, unter dem Druck von 200 bis 300 mm Quecksilber, Wasser einpreßt.

3. Bedeutung der Intercellularräume bei der Secretion[1]).

Harze, ätherische Oele, Gemenge dieser beiden in Wasser unlöslichen oder wenig löslichen Körper, Gummiharze, Gemenge von in Wasser quellender oder löslicher Schleimmasse mit jenen unlöslichen Körpern, endlich Schleime werden in den Geweben der Blätter und Rinden gebildet und gelegentlich oder streng gesetzmäßig in bestimmte Intercellularräume, welche vom Blatt nach dem Zweig bis zum Stamm communiciren, abgeschieden.

a) Erstes Auftreten der Secrete[2]).

Beachtenswerth hierbei ist bei den genauer untersuchten Pflanzen, daß solche Secrete in allen Theilen, Organen, mehr oder weniger reichlich diffus verbreitet, in kleinen Mengen im Zellinhalte vertheilt, erst an bestimmten Orten zum Erguß in die Intercellularen gelangen.

b) Translocation der Secrete.

Die genannten Körper bewegen sich im Allgemeinen im Querschnitt nach außen, so daß in den peripheren Schichten eine größere Menge angesammelt wird, wie in dem Inneren. Vor allen anderen Geweben ist es die Rinde, in welcher die Secrete wandern.

Fig. 213: ein schematisch dargestellter Querschnitt der Rinde von Rhus viminalis, *c* die Cambiumregion, *h* die Region der harzführenden Gänge. Alle punktirten Orte stellen secretführende Zellen dar. Die Größe der Harzgänge wächst nach dem Periderm zu. Die Anzahl der harzführenden Zellen aber wird in derselben Richtung kleiner.

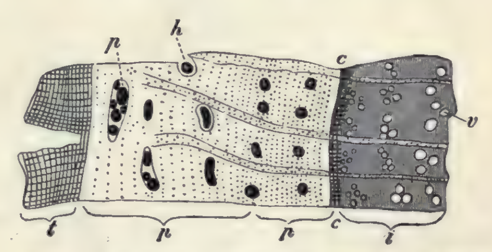


Fig. 213. Rhus viminalis. Querschnitt durch Holz und Rinde mit Carmin imbibirt, um die Vertheilung von Harz und Harzgängen zu zeigen. *h* Harzgang, *v* Gefäße, *t* Kork, *p* Rinde, *c* Cambium, *i* Holz.

---

[1]) A. Wigand, Ueber die Desorganisation der Pflanzenzelle, insbesondere über die physiologische Bedeutung von Gummi und Harz. Pringsh. Jahrb. Bd. III. S. 115. 1863. — N. J. C. Müller, Untersuchungen über die Vertheilung der Harze, ätherischen Oele, Gummi und Gummiharze, und die Stellung der Secretionsbehälter im Pflanzenkörper. Pringsh. Jahrb. Bd. V. 1866—67. — Prof. J. Hanstein, Ueber die Organe der Harz- und Schleimabsonderung in den Laubknospen. 697. 721. 45. 69. Bot. Ztg. 68.

[2]) Studienmaterial: Wurzeln, Stamm und Früchte der Umbelliferen, Araliaceen, Tiliaceen, Terebinthaceen, Compositen (Cynareen u. a.), Abietineen, Cycadeen.

c) Erguß in die Intercellularräume.

In der Nähe der Harzgänge, deren anfänglicher Zuftand durch Fig. 214, p_{II}, p_{III} u. f. f. dargeftellt ift, häuft fich das Secret in den Grenzzellen des Canales p an und wird endlich durch die Membranen diefer in den Canal abgefchieden.

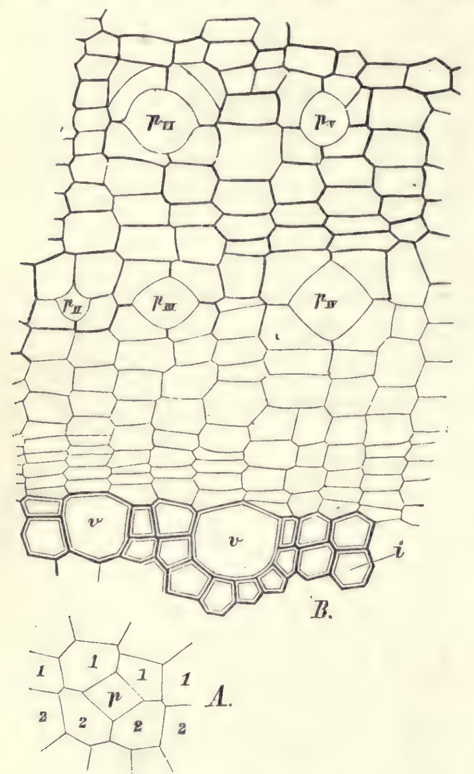


Fig. 214. *A.* Schema des Harzganges. *B.* Cuffonia spicata. Querfchnittsparthie der Rinde. p die harzführenden Intercellularräume. Die 4 Grenzzellen meift ungetheilt in p_{VI} und p_{V} mit tangential und radial geftellten Wänden.

Bei den Coniferen, Cycadeen, Araliaceen theilen fich die Grenzzellen durch bezogen auf den Canal in radial und tangential geftellte Wände. Es entftehen concentrifche Zellengruppen, Fig. 215, *A B,* welche von der Randparthie in centrifugaler Richtung fortfchreitend, fich auflockern und im Secret des Harzganges felbft reforbirt werden. Auf diefe Weife nimmt der Harzgang an Größe zu und wird oft zu einem mehrere Millimeter breiten Canal. (Man vergleiche die zwar kleineren Secretionsgänge der Umbelliferen und Cycadeen, Fig. 215, *AB*). Von der cambialen Zone Fig. 214 ab entftehen, wie leichterfichtlich, die Intercellularen diefer Art in demfelben Sinne, wie die Gewebeelemente der Rinde in centripetaler Richtung, bezogen auf das Stammcentrum. Bei den Cuffonien kommen endlich noch fpaltenförmige Harzgänge vor, welche mit ihrer Axe transverfal geftellt, jene längsverlaufenden p, Fig. 214, verbinden. Sie entftehen durch Auseinanderweichen der zwei Lamellen einer Membranplatte und haben die Geftalt des Linfencylinders.

d) Stellung der Secretionsorgane.

Man kann bei den Coniferen, Cycadeen, Umbelliferen und Compofiten eine deutliche Abhängigkeit in der Stellung der Harzgänge der Rinde von derjenigen der fogenannten primären Fibrovafalmaffen nachweifen.

Auch in jungen Compofiten-Wurzeln, vergl. Artemifia vulgaris, Fig. 216, ftehen die erften Canäle den primären Gefäßbündeln gegenüber. Zu jedem primären Gefäßbündel gehört im Querfchnitt ein Harzgang.

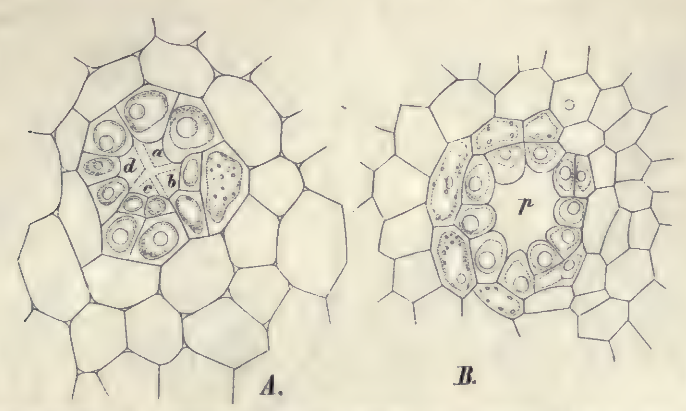


FIG. 215. Cycas revoluta. *A.* Secretionscanal, urfprünglich aus 4 Zellen entftanden *a b c d*. Jede derfelben mehrmals getheilt. *B.* Ebenfolcher Canal *p* mit der Zone der fecernirenden Grenzzellen.

Der Archangelica officinalis fehlen die kleinen Gänge α, β, γ, Fig. 217, welche der Imperatoria eigen find. In der fecundären Rinde (Fig. 217, *A B* in *I II III* u. f. f. dargeftellt) ftehen die in centripetaler Folge entftandenen Gänge genau den Auszweigungen der Holzftrahlen gegenüber. Das Gabelfyftem diefer letzteren in unferen Figuren fchematifch dargeftellt, ift das Spiegelbild eines ebenfolchen, welches erhalten würde, wenn man die Harzgänge durch gerade Linien verbindet.

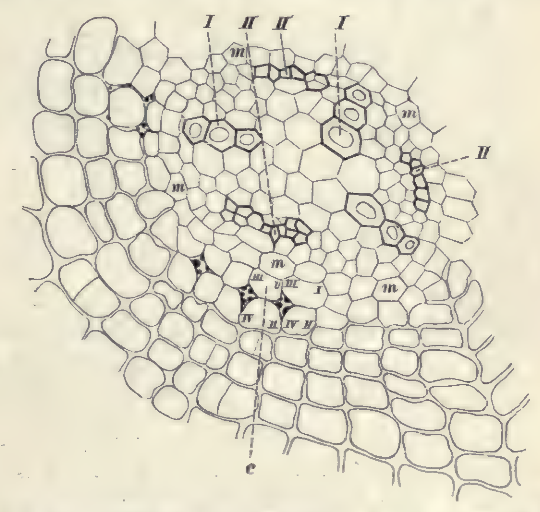


FIG. 216. Artemifia vulgaris. Querfchnitt einer jungen Wurzel, *I* primäre zuerft, *II* ebenfolche fpäter entftehende Fibrovafalmaffen, denfelben gegenüber Gruppen von foeben entftehenden Harzgängen in *I II III IV*.

Bei der Fichte feltener, ganz gefetzmäßig bei den Kiefern, finden fich auch im fecundären Holzzuwachs in jedem Jahrringe kleine Harzkanäle.

Nach der Lage in den verfchiedenen Geweben kann man fomit unterfcheiden:

1⁰ Primäre Harzgänge der primären Rinde, welche vor der Thätigkeit des Cambium-Cylinders entſtanden ſind.

2⁰ Secundäre Gänge der ſecundären Rinde.

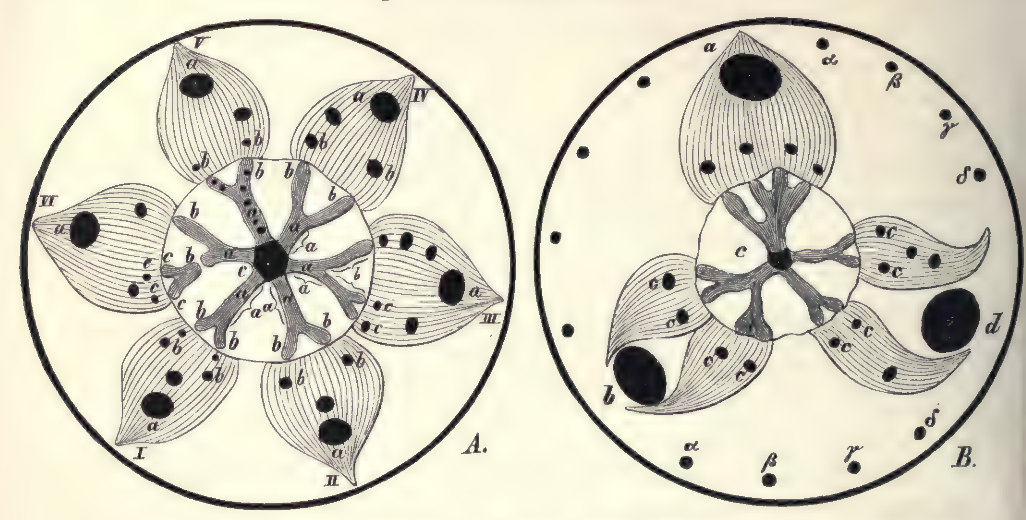


Fig. 217. *A.* Angelica officinalis. Querſchnitt der Wurzel. Das vom Centrum ausgehende Strahlenſyſtem ſtellt die Gefäßbündel des Holzkörpers dar. Die Parcellen *I II* . . . die primäre Rinde und die dunkeln Punkte ſtellen die Secretionsbehälter dar. *B.* Imperatoria oſtrutium. Querſchnitt durch die Wurzel: ſecundäre Secretionscanäle in α, β, γ, und in *b* und *d*.

3⁰ Secundäre Gänge im Jahrring.

4⁰ Querverlaufende Anaſtomoſen aller vorhergehenden.

5⁰ Harzgänge im Blatt der Coniferen, im Carpell der Umbelliferen (vittae) u. ſ. f.



Sechſte Abtheilung: Urſachen der Richtungs- und Lageänderung.

Die Pflanzen haben ſich entſprechend ihrer verſchiedenen Lebensweiſe in mannigfacher Weiſe angepaßt an die beiden, von außen einwirkenden Bewegungsurſachen, Gravitation und Licht.

Wiewohl Licht, ſtrahlende Wärme und die Gravitation der Erde formbedingend und richtend wirken in dem Sinne, daß, wenn die Wirkung der genannten Agentien der Intenſität nach geändert wird, auch die ſich entwickelnde Form eine gewiſſe Aenderung erfährt, ſo haben doch die ver-

ſchiedenen Raçen durch Anpaſſung ganz beſtimmte und ſehr verſchiedene Lagen und Formen erblich angenommen, welche ſie auch ſtetig wieder vererben.

Gewiſſe niedere Mooſe kriechen parallel der Erdoberfläche, andere bilden Raſen von aufrechten Stämmchen. Verſchiedene Pflanzen ganz naher Verwandtſchaft bilden horizontalſtehende Rhizome oder aufrechtſtehende Bäume. Einige beſiedeln feſte lothrechtſtehende Stützen, andere nicht, und ſ. f. Gleichwohl ſind die Gravitation und die Strahlung die endlichen Urſachen aller ſolcher Formzüge.

§ 26. Vererbliche Habituszüge durch Anpassung der Organe an bestimmte Lagen zur Lothlinie und den einfallenden Lichtstrahl.

Bei derſelben Intenſität der Beſtrahlung und ſelbſtredend bei derſelben Intenſität der Gravitation finden ſich an einem kleinen Orte der Erdoberfläche alle möglichen Formen und Lagen. So entſtehen Habituszüge, wie ſie äußerſt charakteriſtiſch in den rankenden Epheu, Kürbis, Bryonia, in den kriechenden Jungermannien, an den Baumſtämmen, in den hängenden jungen Sproſſen des Mohn, des Sedum reflexum, in den gekämmten Abietineenzweigen und Blättern, in den hängenden Zweigen der Trauerbäume (Salix, Fagus, Quercus, Fraxinus), in den ſtreng in die Lothlinie orientirten Stämmen der Getreidefelder und ſ. f. uns entgegentreten.



Fig. 218. *A.* Papaver Rhœas. *B.* Sedum reflexum. Beide Pflanzen krümmen ihre Spitzen vor dem Aufblühen und heben ſie während der Blüthezeit.

Verwandte derſelben Gattung (Salix) können ſtattliche Bäume und wenige Centimeter hohe kriechende Zwergſträucher bilden, ſie können ihre Zweigſpitzen gegen die Richtung der Schwere oder gleichſinnig mit ihr orientiren.

In einer und derfelben Raçe können hängende und aufrechte Zweigtheile auftreten, Fig. 218.

A. Gravitation[1]).

Wir ftellen an die Spitze der hier folgenden Schilderung diefen Satz: Ein jedes Molecul der in die Pflanze einkehrenden Bauftoffe unterliegt der Einwirkung der Schwere. Es wird aber offenbar durch diefelbe Verfchiebungen erfahren, welche verfchwindend klein find gegenüber denjenigen, welche es durch die Zug- und Druckkräfte in der Pflanze erfährt. Die molecularen Wirkungen: Adhäfion in mikrofkopifch kleinen Capillarräumen, Cohäfion in der feften Zellhaut, Zug- und Quellungsdruck in der wachfenden Membran, Transpiration durch gefchloffene Membranen, capillare Strömung und f. f. bringen Verfchiebungen zu Stande oder halten

[1]) Dr. Th. Hartig, Ueber das Eindringen der Wurzeln in den Boden. 49. Bot. Ztg. 66. — B. Frank, Ueber Hofmeister's Einwendungen gegen meine Lehre vom Geotropismus. 561. 77. 93. 609. Ueber die Einwirkung der Gravitation auf das Wachsthum einiger Pflanzentheile. 873. Bot. Ztg. 68. — W. Hofmeister, Ueber die Abwärtskrümmung der Spitzen wachfender Wurzeln. 257. 73. Bot. Ztg. 68. — Dr. Jul. Wiesner, Beobachtung über den Einfluß der Erdfchwere auf Größen- und Formverhältniffe der Blätter. A. d. Sitzgsber. d. k. Acad. d. Wiffenfch. 1868. — W. Hofmeister, Ueber paffive und active Abwärtskrümmung von Wurzeln. 33. 49. 73. 89. Bot. Ztg. 69. — Dr. A. B. Frank, Die natürliche wagerechte Richtung von Pflanzentheilen und ihre Abhängigkeit vom Lichte und von der Gravitation. Leipzig. Herm. Weißbach. 1870. — N. Speschneff, Zur Frage der Abwärtskrümmung von Wurzeln. 65. Bot. Ztg. 70. — J. Sachs, Studien über das Längenwachsthum der Wurzeln. 320. Bot. Ztg. 72. — Unterfuchungen über die Abwärtskrümmung der Wurzel von Dr. Theophil Ciesielski. — Cohn, Beitr. Heft 2. S. 1. Breslau 1872. J. U. Kern. Ablenkung der Wurzeln von ihrer normalen Wachsthumsrichtung durch feuchte Körper. — Jul. Sachs, Arbeiten des botan. Inftituts in Würzburg. Heft 2. Leipzig 1872. W. Engelmann. Längenwachsthum der Ober- und Unterfeite horizontal gelegter, fich aufwärts krümmender Sproffe. Heft 2. Leipzig 1872. W. Engelmann. — Hugo de Vries, Ueber einige Urfachen der Richtung bilateral-fymmetrifcher Pflanzentheile. — Jul. Sachs, Arbeiten des bot. Inftituts in Würzburg. Heft 2. Leipzig 1872. W. Engelmann. — Studien über Symmetrie und fpecififche Wachsthumsurfachen von Dr. W. Pfeffer. — Sachs, Arbeiten des bot. Inftituts in Würzburg. Heft I. Leipzig 1871. W. Engelmann. — Ueber die Lage und die Richtung fchwimmender und fubmerfer Pflanzentheile. Von Dr. A. B. Frank. — Cohn, Beitr. Heft 2. S. 31. Breslau 1872. J. U. Kern's Verlag. — A. B. Frank, Zur Frage über den Transverfalgeotropismus und Heliotropismus. 17. 33. 49. Bot. Ztg. 73. — Ueber die Dehnbarkeit wachfender Sproffe von Dr. Hugo de Vries. — Jul. Sachs, Arbeiten des bot. Inftituts in Würzburg. Leipzig 1874. Engelmann's Verlag. — Dr. Georg Winter, Heliotropismus bei Peziza Fuckeliana. Bot. Ztg. 74. — Hofmeister, Ueber die durch die Schwerkraft beftimmten Richtungen von Pflanzentheilen. Pringsheim's Jahrb. Bd. III. S. 77. — Theophil Ciesielski, Unterfuchungen über die Abwärtskrümmung der Wurzel. Breslau. Robert Nifchkowsky. Dr. A. B. Frank, Ueber den Einfluß des Lichtes auf den bilateralen Bau der fymmetrifchen Zweige der Thuja occidentalis. Pringsheim's Jahrb. Bd. IX. S. 147.

das Theilchen vorübergehend oder dauernd in ſo ſtabiler Lage, daß die Zugkraft der Schwere hiegegen verſchwindet.

Gleichwohl muß das Aggregat jedes Organismus von der Gravitation abhängen, da Zug- und Druckfeſtigkeit aller Organe von dem Aggregat abhängig ſind und jedenfalls in letzter Linie von der Größe der Gravitation beeinflußt werden.

1. Knight's Experiment.

KNIGHT[1]) war der Erſte, welcher experimentell nachwies, daß die Orientirung wachſender Pflanzen in die Richtung der Lothlinie eine Wirkung der Schwerkraft iſt. Er ließ keimende Pflanzen auf einem rotirenden Mühlenrade wachſen. Die Wurzeln orientirten ſich ſo, daß ihre Spitzen in centrifugaler Richtung nach außen, die Stämme aber ſo, daß ſie in centripetaler Richtung nach dem Rotationscentrum wuchſen. Da dieß dieſelben Richtungen ſind, welche die Pflanzen, gleichgültig wie bei der Ausſaat jene Keimtheile lagen, endlich unter dem Einfluß der Schwere einnehmen, ſo war durch dieß Differenzexperiment, in welchem mit Ausnahme der Zugkraft alle übrigen Bedingungen unverändert blieben, der gewünſchte Nachweis geliefert.

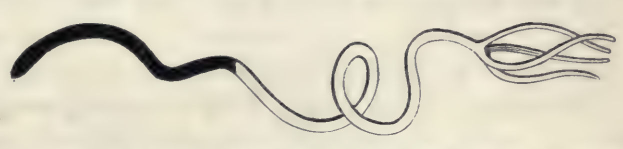


FIG. 219. Picea excelſa. Keimling, der Stamm in der Spirale, die Wurzel in einer Wellenlinie gekrümmt.



FIG. 220. Schieferplatte mit wachſenden Erbſen- und Weizenkeimlingen nach dreitägiger Rotation um eine lothrechtſtehende Axe *A*. 4—6 Umdrehungen in der Secunde. Radius der Scheibe gleich 6 cm.

Man bedient ſich in pflanzenphyſiologiſchen Inſtituten jetzt einfacher Rotationsapparate, welche durch ſinkende Gewichte oder mittelſt einer Turbine oder eines Elektromagneten getrieben werden. Eine Platte aus Schiefer wird auf die Rotationsaxe aufgeſchraubt[2]). Auf der Platte

---

[1]) *Philosophical Transactions.* London 1817.

[2]) Die Centrifugalkraft auf einer ſolchen Scheibe iſt

$$F = \frac{4\,\pi^2}{g}\,\frac{R}{T^2}, \quad \text{die Conſt. } \frac{4\,\pi^2}{g} = 4{,}024,$$

hierin *R* der Radius, *T* die Dauer einer Umdrehung. An unſerer Maſchine kann *T* beliebig bis zu zwanzig Umdrehungen in der Secunde geſteigert werden, indem man die Be-

ſind mehrere Korke mit Siegellack befeſtigt, an welche die Keimpflanzen in der erſten Keimphaſe mittelſt Stecknadeln befeſtigt werden. Ein Uhrglas bedeckt die Platte, ein Gummiring hält das Uhrglas an der rotirenden Schieferplatte. Wie nun auch die Keimwürzelchen zu Beginn des Verſuchs zum Radius orientirt ſein mögen, ſtets beugen ſie ſich ſo, daß ſie nach einiger Zeit in centrifugaler Richtung weiter wachſen, Fig. 220, 221.

Weſentliche Reſultate des Verſuches:

1⁰ die beugungsfähige Stelle der Wurzel liegt in der Nähe der Spitze und fällt in dasjenige Cylinderſtückchen, welches den derzeitig größten partialen Zuwachs beſitzt (ſ. oben S. 180).

Die geotropiſche Krümmung äußert ſich verſchieden an Stamm und Wurzel. Am beſten ſieht man dieß an Fichtenkeimlingen, an welchen die Wurzel und das hypocotyle Glied bereits entwickelt ſind: legt man ſolche der Länge nach in einen feuchten Raum, in deſſen Boden indeß die Wurzeln nicht einzudringen vermögen, ſo beugen ſich die Stämme nach oben, die Wurzeln nach unten, die ganze Pflanze verändert ſtetig ihre Lage, weil ſie jeweilig, wenn ihr Schwerpunkt gehoben wird, umfällt. Der Stamm beſchreibt hiebei eine Schraubenlinie, die Wurzel nicht, Fig. 219.

Der rotirende Teller, Fig. 220, iſt in Coordinaten getheilt, ſo daß man mit dem Cathetometerfernrohr die Lage der Keimtheile verfolgen und in Coordinatenpapier, Fig. 221, eintragen kann. In Fig. 221 ſind einige

laſtung am ſinkenden Gewicht ſteigert. Bemerkenswerth iſt aber, daß auch *R* für den gegebenen Pflanzentheil während des Verſuches veränderlich iſt, da die wachſende Spitze der Wurzel ſich vom Centrum entfernt, während die wachſende Stammſpitze ſich demſelben nähert. Es mögen hier die Intenſitäten abhängig von *T* und *R* angegeben ſein innerhalb der Grenzen, welche für die Experimente von Belang waren:

Radius cm	Intenſität $T = 0{,}1$ Sec.	Intenſität $T = 0{,}2$ Sec.
1	4	1,006
1,5	6	1,509
2	8	2,012
2,5	10	2,515
3	12	3,018
3,5	14	3,521
4	16	4,024
4,5	18	4,5
5	20	5
6	24,14	6
7	28	7
8	32	8
9	36	9
10	40	10.

der Wurzeln in dieſer Weiſe verzeichnet. Verlängert man *r r* bis zum Schnittpunkt, ſo erhält man das Centrum des Tellers; *p p* iſt die periphere Richtung, die in dem Quadrat verzeichneten Hilfslinien ſind in mm getheilt.

Fig. 221. Wurzelſpitzen von Piſum und Vicia Faba auf einem rotirenden Teller wachſend. *r r* die Radien, durch deren Verlängerung das Centrum des Tellers gefunden wird. *a* die Anfangslänge, *b* die Endlage der Wurzeln nach 2 Tagen. An jeder Wurzel ſind mehrere ſchwarze Marken, welche von der Spitze her abgezählt werden können. In *A* ſind zwei Wurzeln, eine urſprünglich ſenkrecht, die andere nahezu parallel dem Radius aufgeſtellt. In *B* iſt eine Wurzel nach innen gerichtet.

Läßt man Wurzeln mit der Spitze aufrecht wachſen, ſo beſchreiben ſie unter dem Einfluß der Schwere einen großen Bogen, Fig. 222 *A*. Stehen die Wurzeln aber horizontal, ſo iſt die Krümmung ein kleiner Bogen, Fig. 222 *B*.

2[0] die Beugung geſchieht durch ſtärkere Streckung der in der convexen Seite belegenen Zellen. Dabei werden die Zellen der concaven Seite unter ihr Zuwachsmaß zurückgehalten, während jene der convexen Seite thatſächlich über das gewöhnliche Maß im Wachsthum geſteigert ſind, Fig. 223.

Die Meſſung dieſer Beugungsſtelle geſchah in der Weiſe, daß

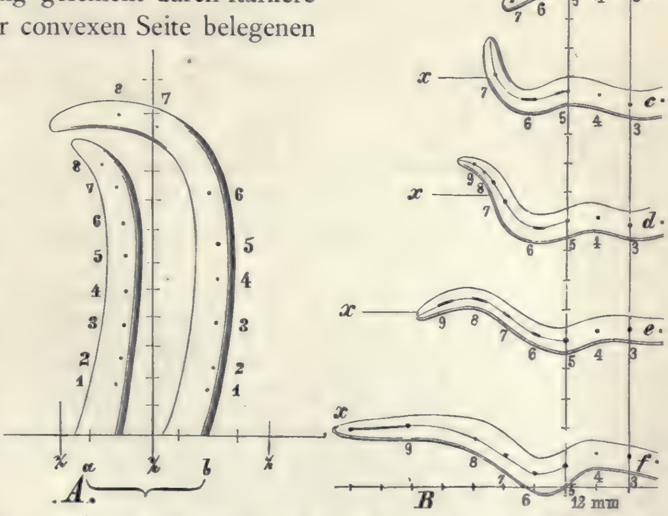


Fig. 222. *A.* Aufrecht ſtehende Wurzel der Vicia Faba. *a* Anfangs-, *b* Endlage (und Länge). *B.* Wurzeln des Piſum ſativum, horizontal aufgeſtellt, ſo daß das freie Ende ſich krümmen kann. Von Zeit zu Zeit wurde die Platte, an welcher die Keimlinge befeſtigt waren, umgekehrt.

das in Frage kommende Stück an der Präparirlupe in Abſchnitte zerlegt wurde, welche $^1/_3$ bis $^1/_2$ mm groß waren, ſodann wurden dieſe in mikroſkopiſche Durchſchnitte zerlegt und die Zellenanzahl in beiden Seiten beſtimmt und in die vergrößerte Figur eingetragen.

3⁰ die Wachsthumsintenſität in Richtung der Zugkraft an der Rotationsmaſchine wird entſprechend der Intenſität vergrößert. Säet man gleiche Erbſen-, Lupinen-, Getreideſamen, einen Theil unter dem Einfluß der Schwere, den andern unter dem Einfluß der Centrifugalkraft aus, ſo wachſen bei Gleichheit der Temperatur und der ſonſtigen Bedingungen die letztern entſprechend der größeren Intenſität der Zugkraft raſcher. Setzen wir die Zuwachsgröße der gewählten Wurzeln (Vicia Faba), unter dem Einfluß der Gravitation gleich eins, und die Intenſität der Schwere gleich eins, ſo verhalten ſich die Zuwachſe für gleiche Zeit und unter dem Einfluß der Centrifugalkraft an der Maſchine, wie $\frac{2,46}{1}$, die Intenſität der letzteren aber war in dem Verſuch $\frac{12}{1}$ mal ſo groß wie die Intenſität der Schwerkraft[1]), Fig. 224. Hierbei wurde ſo verfahren, daß gleichaltrige Ausſaaten während 36 Stunden in gleicher Temperatur keimten, die Hälfte der Keimlinge mit abwärts gerichteten Wurzeln an einer Coordinatentafel im feuchten Raum, die andere Hälfte unter gleichen ſonſtigen Bedingungen auf der rotirenden Scheibe.

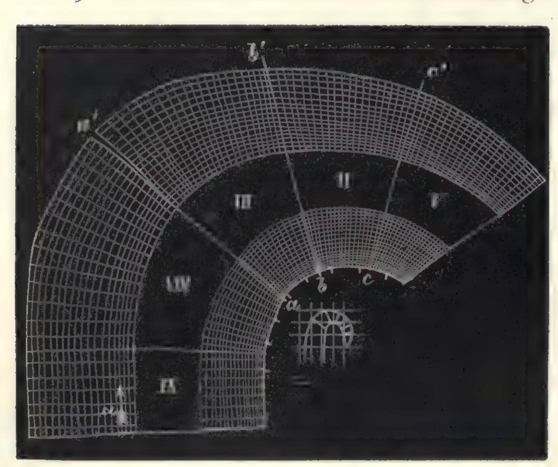


Fig. 223. Beugungsſtelle einer aufrecht ſtehenden Wurzel von Vicia Faba vergrößert, daneben in natürlicher Größe.

2. Die Wurzeln heben eine Laſt. Experimente mit Queckſilber und Modellirthon.

Die Wurzel hat auf ihrer Bahn zwiſchen den Erdtrümmern oder in plaſtiſcher Thonmaſſe ſehr bedeutende Widerſtände zu überwinden. Sie büßt während dieſes Wachsthums merkwürdigerweiſe auch die Spannung ein, welche oben, § 24 S. 186, beim Stamme ſo auffällig war. Alle Gewebearten in ihr wachſen nahezu gleich raſch.

[1]) Die Intenſität der Gravitation iſt von den verſchiedenen Planeten: Erde 1, Merkur 1,15, Venus 0,91, Mars 0,5, Jupiter 2,45, Saturn 1,09, Uranus 1,05.

Läßt man Keimwurzeln in der Weiſe in Queckſilber wachſen, wie Fig. 226 demonſtrirt, ſo wird die Spitze weit über den Zuwachsort in das Metall geſchoben, bis durch die aufgelockerten Cylindertheile der Auftrieb den ganzen Cylinder in flachem Bogen nach oben krümmt.

Auch in lückenloſem Modellirthon kann man zeigen, daß die Spitze dieſelbe Krümmung ausführt, welche in der Atmoſphäre beſchrieben wird, Fig. 225.

Läßt man endlich horizontalſtehende Wurzeln auf den Hebelarm *n*, Fig. 227, wirken, welcher ähnlich einem Wagebalken bei ſeiner Abwärtsdrehung ein Gewicht an dem andern Hebelarm hebt, ſo beſchreibt die Spitze die Bahn *a b c*, hebt dabei ein Gewicht, welches das 10- bis 20fache des hinzugewachſenen Stückchens betragen kann.

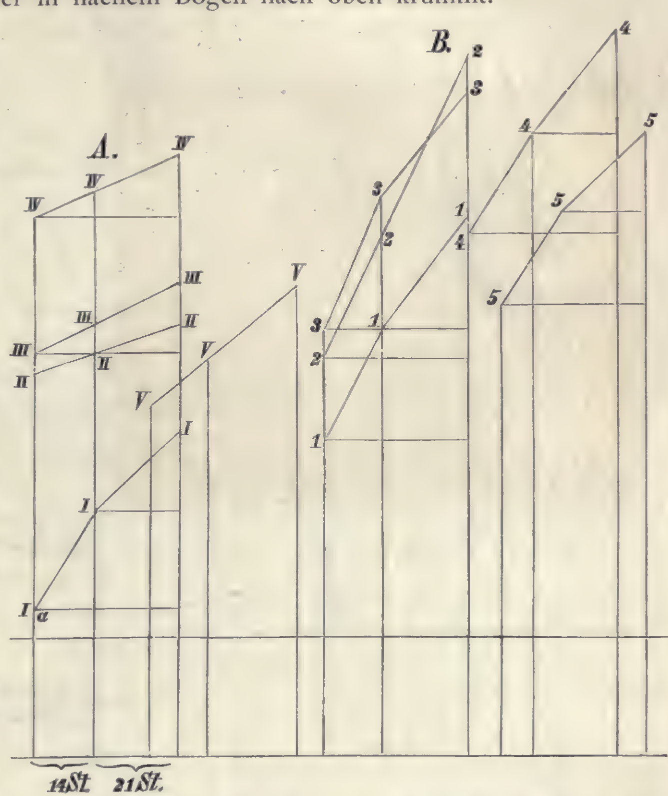


Fig. 224. *A.* Die Längen von 5 Wurzeln der Vicia Faba mit lothrecht und abwärts wachſenden Spitzen als Function der Zeit. *B.* 5 ebenſolche auf der Rotationsmaſchine. Zeitintervalle 14 und 21 Stunden. Millimetercoordinaten. Rotation 10 Umdrehungen in der Secunde.

3. Blattentwickelung an geneigten Zweigen. Gewicht verschieden geneigter Blätter.

a) Horizontal ſtehende Zweige der Decuſſirten, Acer, Aesculus, aber auch der Quercus u. ſ. f. entwickeln alle abwärts geneigten Blätter größer, alle aufwärts ſtehenden ſchwächer. Dieß iſt ſehr wahrſcheinlich eine complexe Wirkung der Gravitation und der Beſtrahlung. Bei den Decuſſirten, wo die Mediane eines Wirtels das Loth aufnimmt, wird es ein Blatt mit dem Maximum und eines mit dem Minimum des Gewichtes geben, zwiſchen beiden liegt derjenige Wirtel, deſſen Mediane ſenkrecht zum Lothe ſteht mit dem mittleren Gewicht. Bei den nach $^2/_5$, $^3/_8$ beblätterten wird, da der Winkel

der Divergenz conſtant iſt, in größeren Intervallen Maximum und Minimum herrſchen [1]).

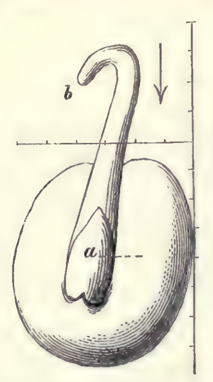


FIG. 225. Lageänderung der Wurzelſpitze eines Erbſenkeimlings, welcher in Modellirthon feſt eingeſchloſſen war, *a* Anfangs-, *b* Endlage.

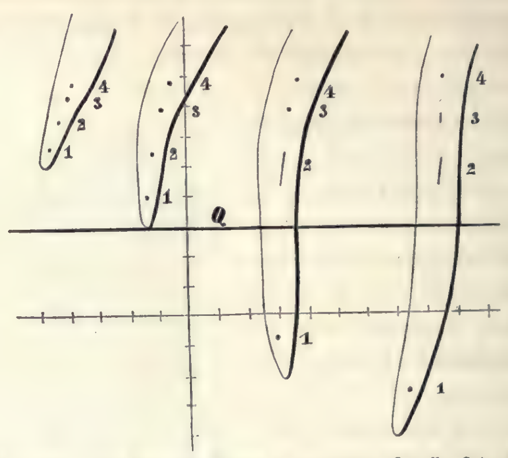
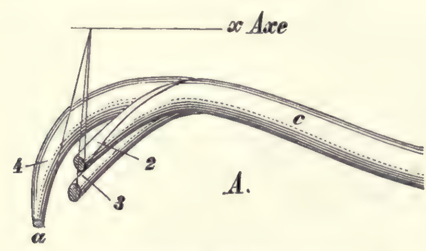


FIG. 226. Vicia Faba, die Wurzel in Queckſilber, *Q* deſſen Spiegel.

b) Die Blattſtiele vieler Blätter, des Epheu, der Erythrina criſta galli u. a. m. ſind negativ geotropiſch wie die Stämme, ſie beugen ſich, bis die Axe aufrecht und im Loth ſteht, Fig. 227. Hierbei bewegt ſich das genau auf der Unterſeite ſtehende Blatt ſo, daß der Winkel zwiſchen der tragenden Axe *A,* Fig. 227, und dem Blattſtiel möglichſt klein wird.



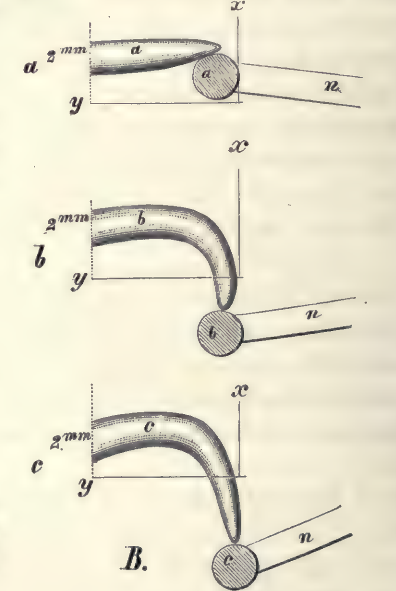


FIG. 227. *A.* Die horizontal aufgeſtellte Wurzel iſt an einer Drahtſchlinge befeſtigt und zerrt bei ihrer poſitiv geotropiſchen Krümmung eine elaſtiſche Drahtſpirale. *B.* Die Wurzel drückt auf einen Hebelarm *n* und verſchiebt dieſen durch die Lagen *a b c.*

---

[1]) Nach WIESNER ſind ſolche Gewichte:

0,15 . 0,3, 0,09 bei der Eiche,

0,7 . 3,51 oder 0,9, 2,26 bei Aesculus.

Es iſt bei dieſen Beobachtungen zu beachten, daß bei den Zweigen ſchon in der Evolution eine große Periode begründet iſt, und daß complexe Erſcheinungen aus der Lage und gegenſeitigen Beſchattung die vorliegenden Perioden zuweilen verdecken.

c) Drehung des Blattstiels um 180°. Bei den Trauerbäumen, Eiche, Buche, Esche ist die Blattknospe oft senkrecht erdwärts gerichtet. Die morphologische Unterseite der Blätter ist nach oben gekehrt. Bei der Entfaltung aber dreht sich der Blattstiel um 180°, so daß die morphotische Oberseite zenithwärts gekehrt wird.

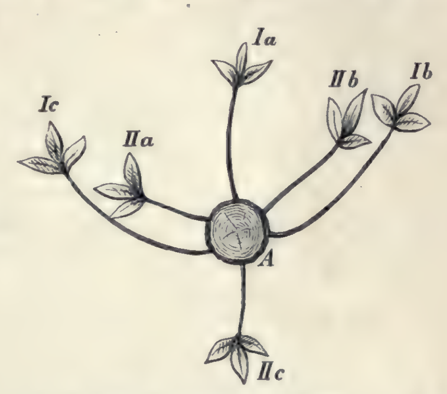


FIG. 228. Lage der dreigliedrigen Wirtel *I a b c* *II a b c* an einem horizontal stehenden Ast *A*. (Erythrina crista galli.)

Diese Erscheinung ist nach FRANK eine geotropische; stellt man die Zweige der Decussirten horizontal oder lothrecht, die Spitze nach unten in den Dunkelraum auf, so tritt dieselbe Axendrehung der Blattstiele ein.

Krümmt sich der Sproß in der ersten Stellung, Fig. 229, so ist dieß eine geotropische Erscheinung, bezeichnet der Pfeil die Richtung des einfallenden Lichtes, so fällt diese Krümmungsebene (zweite Figur) in die Einfallsebene. Die Beugung ist somit Folge zweier äußeren Wirkungen. Steht der Sproß aufrecht (dritte Figur) und beugt sich gegen den Pfeil (vierte Figur), so kommt nur eine äußere Wirkung in Betracht, das Licht.



FIG. 229. Lagenänderung eines Sprosses bei verkehrter und aufrechter Stellung, mit dem Pfeil fällt das Licht ein.

Bei der Linde stehen die Foliationsebenen der Seitenaxen *a a*, Fig. 230, geneigt zum Horizont *H H'*. Während der Entfaltung der Knospen dreht sich der linke Sproß von links nach rechts, bis die Ebenen *A A'* parallel zu *H H'* stehen. Die Blätter *a a* u. s. f. öffnen sich und stellen ihre Flächen ebenfalls normal zur Lothlinie. Dreht man ein solches System so, daß die zenithwärts gelegene Seite *O* nach unten weist, so drehen sich alle Blätter, so daß sie ihre morphologische Oberseite nach oben kehren, sie beschreiben eine Bahn von 180° um den Blattstiel als Axe.

Die nach ½ beblätterten Sprosse der Convallaria multiflora neigen an

der Spitze über und zwar ſo, daß die Krümmungsebene ſenkrecht ſteht zur Foliationsebene. Die Ebene der Inſertion ſteht dann im Horizont.

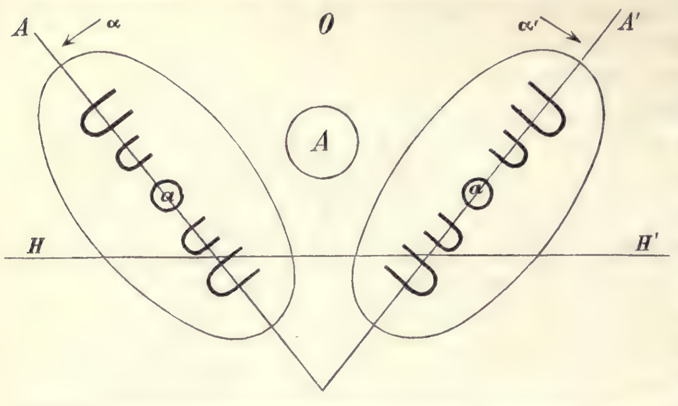


Fig. 230. Querſchnittsprojection eines horizontal ſtehenden Lindenzweiges *A* mit zwei Axillarſproſſen *a a*.

Bei allen kriechenden Grasſtämmen ſteht die Ebene der Inſertion horizontal. Ebenſo bei allen nach $^1/_2$ beblätterten Laubbäumen, Buche, Ulme, Linde. Der Querſchnitt des Keimlings möge ſchematiſch durch die Fig. 231 dargeſtellt ſein. Die Rollung der Blätter, welche mit ihrer Inſertionsfläche die Axe über ihren Kreisumfang umfaſſen, iſt dann im gewiſſen Sinne von der Schwerkraft abhängig, wenn die Medianen der Laubblätter, welche ſich ſoeben entwickeln, ſenkrecht zum Lothe ſtehen. Alsdann wird nämlich der linke Rand eines Blattes nach abwärts, der rechte wird nach aufwärts wachſen. Der letztere iſt dann immer um etwas gefördert und bedeckt den linken. Das gegebene Blatt iſt von links nach rechts gerollt.

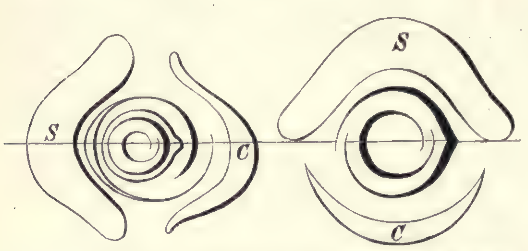


Fig. 231. Schema des Querſchnittes durch einen Weizenkeimling. *S* Scutellum, *C* Cotyledon. In der linken Figur iſt das jüngſte und älteſte Blatt ſo gerollt, daß der linke Rand vom rechten gedeckt wird. Die Mediane der Blätter fällt mit der Linie *S C* zuſammen. In der rechten Figur ſind beide Laubblätter von links nach rechts gerollt, ihre Mediane ſteht ſenkrecht zur Verbindungslinie *S C*.

Das nächſte Blatt muß von rechts nach links gerollt ſein u. ſ. f. unter der Vorausſetzung, daß die Axe die vorbeſchriebene Lage beibehält, Fig. 232. Steht aber die Axe ſelbſt im Loth, ſo wird offenbar die Schwerkraft nicht in verſchiedenem Sinne auf beide Blatthälften wirken. Mehrere conſecutive Blätter rollen ſich jetzt bald von links nach rechts, bald umgekehrt. In dem Schema Fig. 232 ſind beide Rollungen dargeſtellt.

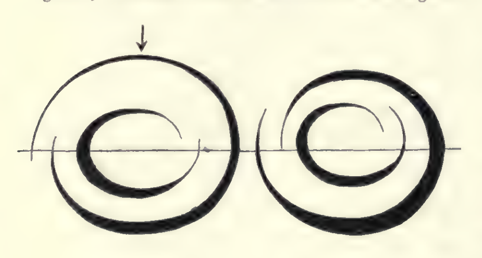


Fig. 232. Schema der Rollung der Grasblätter. In der linken Figur deckt der rechte Rand des Blattes den linken. In der zweiten Figur wechſelt dieſe Richtung, im innern deckt der rechte, im äußern Blatte deckt der linke Rand.

Hofmeister ſuchte den Nachweis zu führen, daß die Schwerkraft die Urſache dieſes Verhältniſſes iſt. Er ſtellte Graskeimlinge an der rotirenden Scheibe ſo auf, daß die Centrifugalkraft in Richtung des Pfeiles im Schema Fig. 232 wirkt. Es rollten ſich dann die neu entſtehenden Blätter der zweiten Figur entſprechend, ſo, daß immer der gegen die Pfeilrichtung wachſende Rand gefördert und dem entſprechend der deckende wurde.

Aehnliche Abhängigkeiten der Förderung der linken und rechten Hälfte fand Hofmeister bei den Begonien, Ulmen, bei den Stipulis der Eiche u. a. m.[1])

Bei den aſſymetriſchen Blattflächen von Ulmus und Celtis, Fig. 233, vertheilt ſich das Durchſchnittsgewicht der kleinen zu demjenigen der großen Blatthälfte wie 1 : 1,221. Wurde der Zweig horizontal geſtellt während der Entwicklung, ſo entwickelten ſich die Flächen in dem Verhältniß 1 : 1,276. Stund aber der Zweig vertical der Spitze nach unten, ſo reſultirte das Verhältniß 1 : 1,53.



Fig. 233. Schema der Lage aſſymetriſcher Blätter zum tragenden Zweig bei Ulmus, Celtis.

Aufrechte Lohden der Caſtanea vesca zeigen die Blätter ſchon in der Knoſpenlage nach $^2/_5$ oder $^3/_8$ geſtellt. Die im Horizont ſtehenden Zweige der erwachſenen Bäume aber beſitzen die Divergenz $^1/_2$ und ſtellen ihre Foliationsebene ſenkrecht zum Loth.

4. Krümmung der Abietineensprosse.

Der aufrecht ſtehende Abies- und Piceaſtamm iſt wie alle Zweige allſeitig benadelt, die Nadeln richten ſich in's Loth und liegen dem Stamme dicht an.

Die horizontal ſtehenden Aeſte, urſprünglich benadelt wie die lothrechten, richten alle ihre Zweige zunächſt bei dem Knoſpenaufbruch und zur ſelben Zeit die Blätter ſo, daß alle in eine Ebene fallen, welche ſenkrecht zum Loth ſteht.

Dieſe Kämmung der Blätter tritt auch ein, wenn die Zweige während der Entfaltung in ihrer normalen Lage im Dunkeln ſtehen, ſie tritt auch ein im Dunkeln, wenn die Foliationsebene ſo geſtellt wird, daß ſie das Loth aufnimmt, Fig. 234.

In der Figur 234 iſt in *A* der untere Jahrestrieb in der normalen Weiſe gekämmt, die unteren Nadeln ſind die längeren. In *B* wurde der

---

[1]) Hofmeister, Allgem. Morphologie. S. 583. 588 ff.

obere Jahrestrieb während ſeiner Entfaltung um 90° zur normalen Lage gedreht. Die Nadeln kämmten ſich jetzt der neuen Lage entſprechend. Hierbei mußte die eine Seite, weil ſie urſprünglich die Unterſeite war, *u* Fig. 234 *B*, mit längeren, die andere, urſprüngliche Oberſeite die kürzeren Nadeln erhalten *o*.

Werden die Abietineenzweige verkehrt aufgeſtellt, ſo daß die morphologiſche Oberſeite nach unten zeigt, ſo drehen ſich die Nadeln, bis die urſprüngliche Oberſeite wieder nach oben gekehrt erſcheint.

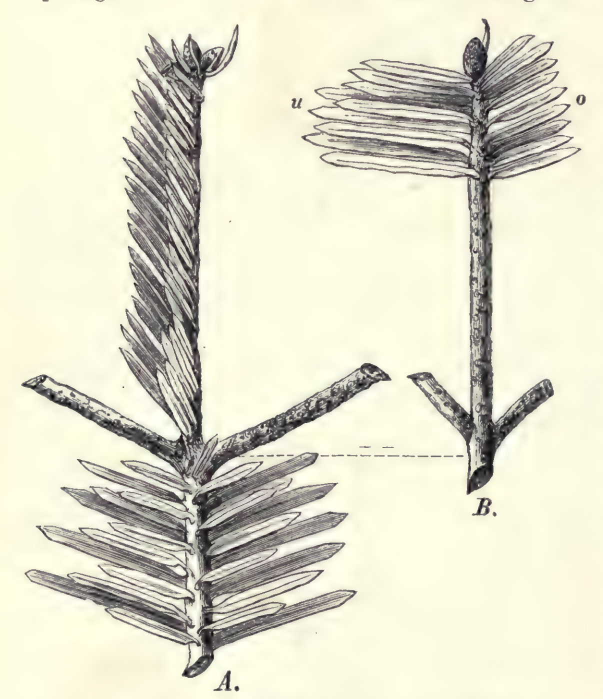


Fig. 234. Abies excelſa. *A.* Dieſe Figur zeigt im unteren Theil die normale Kämmungsebene der Nadeln. Im obern ſteht dieſelbe ſenkrecht zur untern. *B.* Die Nadeln der oberen und unteren Seite, ſenkrecht zur Zweigebene gekämmt.

Zweige derſelben Pflanzen, während der Knoſpenentfaltung mit der Spitze nach unten gekehrt, krümmen ſich und ſtellen die Nadeln horizontal; dabei aber ſteht die Krümmungsebene des Zweiges nicht ſenkrecht zur Foliationsebene.

Für das Laubblatt läßt ſich die Drehung der Blätter am beſten an den Keimpflanzen der Aralien zeigen, Fig. 235, 236. Stellt man dieſelben umgekehrt mit der Stammſpitze nach unten, ſo drehen ſich die Blätter innerhalb 24 Stunden. Zahlreiche ſolche Töpfe, wie die Figuren 235, 236 darſtellen, wurden im diffuſen Tageslicht, ſowie in der Dunkelkammer aufgeſtellt. Der Erfolg war immer der gleiche.

5. Stellung der zygomorphen Blüthen.

Die zygomorphen Blüthen der Orchideen beſchreiben während der Entwickelung des Blüthenſtandes eine Umdrehung von 180°. Der Sporn in der Anlage nach oben kommt nachher nach unten zu liegen. Die ſymmetriſch hälftende Ebene nimmt das Loth auf.

Die ſymmetriſchen Blüthen der Orchideen, Papilionaceen, Scrophu-

larieen, Labiaten u. a. m. ſind immer ſo orientirt, daß die Mediane das Loth aufnimmt.

6. Stellung der Trameteshüte an aufrechten und liegenden Baumstämmen.

Die Fruchtſtände der Trametesarten entſproſſen einem formloſen Mycelium, welches den Baum bewohnt. Sie ſtellen halbe Rotationskörper dar, welche ihre Scheibenfläche ſenkrecht zum Lothe orientiren. Steht der Baum aufrecht, ſo geht die ideale Axe des Pilzkörpers mit der Axe des Baumes parallel, Fig. 237. Entwickelte ſich aber der Pilzhut nachdem der Baum gefällt war, ſo orientirt ſich derſelbe wie im erſten Falle ſenkrecht zum Loth und zur Axe ſeines Wirthes.



Fig. 235. Keimpflanze der Aralia verkehrt aufgeſtellt, von links fällt das Licht vom Fenſter ein (2 . 24 Stunden).

In der Figur 237 iſt der liegende und aufrechte Stamm mit dem Pilzhut dargeſtellt. Derſelbe entwickelte ſich in einem Falle, nachdem der Stamm gefällt war. Die Fig. 238 ſtellt eine Colonie der Trameteshüte dar. *T* war aus dem Stamm gewachſen zur Zeit, wo dieſer aufrecht ſtund; *T' T''* entwickelten ſich, nachdem der Stamm gefällt war.

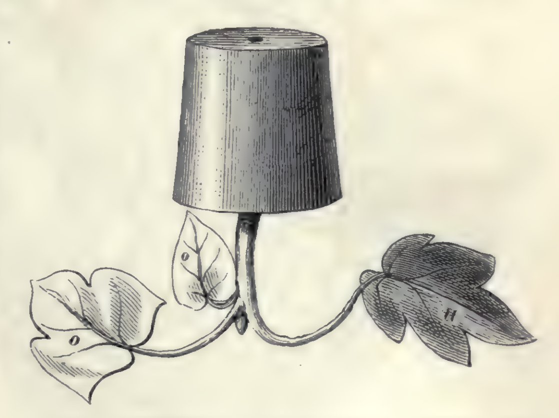


Fig. 236. Keimpflanze der Aralia im Dunkeln umgekehrt aufgeſtellt (2 . 24 Stunden).

7. Beugung der Moosfrüchte.

Die Seta der Mooſe iſt urſprünglich lothrecht orientirt und gerade, Fig. 239, ſie durchläuft während der Entwickelung der Kapſel die Formenreihe Fig. *A*, *a*, *b*, *c*, *d*, bei Funaria, Bartramia, Bryum, Hypnum, Catharinea u. a. m. Sie entwickelt ſich ſymmetriſch mit lothrecht ſtehender Mediane bei Buxbaumia.

8. Prädisposition zum Geotropismus.

Die Brutknoſpen der Marchantieen ſind im Beginne der Entwickelung lothrecht ſtehende Flächengebilde, Fig. 240, welche biscuitförmige Zellkörper mit mehreren Zellſchichten darſtellen.



Fig. 237. Trameteshüte an einem lothrecht ſtehenden und an einem gefällten Baume.

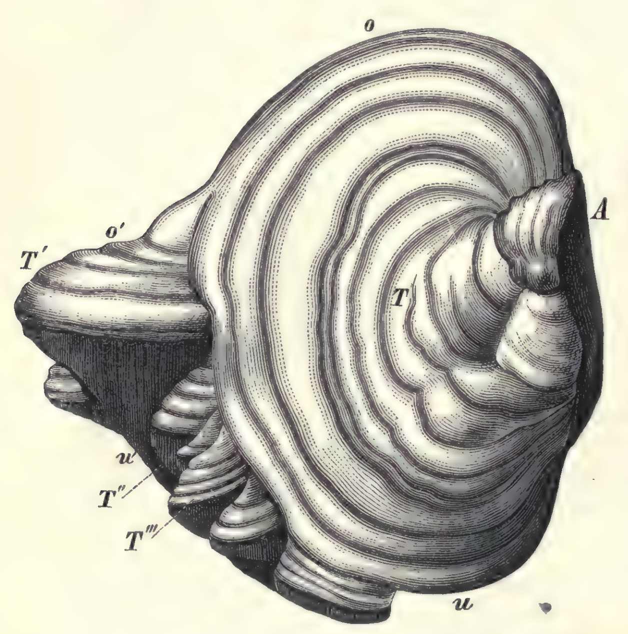


Fig. 238. Trameteshut. *A* die Verbindungsſtelle mit dem Baum; *T* die urſprüngliche Oberſeite, als der Baum noch aufrecht ſtund; *T' T''* u. ſ. f. nachträgliche Sproſſungen aus *T*, nachdem der Baum gefällt war und horizontal lag; *o u* urſprüngliche Ober- und Unterſeite für *T*; *o' u'* Ober- und Unterſeite für *T' T''* u. ſ. f.

Nach der Ausſaat fallen dieſe Brutkörperchen auf die flache Seite und bilden ein Marchantieenlager, welches zuletzt nach der Oberſeite anatomiſch verſchieden von der Unterſeite beſchaffen iſt. Zur Zeit der Ausſaat war dieſe Differenzirung nicht vorhanden.

Die der Erde zugekehrte Seite bildet Wurzelhaare, die zenithwärts gekehrte Seite nicht. Die anatomiſche Structur und die Vertheilung der Chlorophyllkörper werden verſchieden für beide Seiten[1]). Die Spaltöffnungen bilden ſich nur an der oberen Seite. Nach Mirbel's Angaben haben ſich die vorher gleichſeitigen Brutknoſpen 24 Stunden nach der Ausſaat für die bilaterale Ausbil-

[1]) Mirbel, *rech. anat. et physiol. sur le Marchantia. — Mém. de l'acad. des scienc. de l'institut de France. 1835.* — Hofmeister, vergl. Unterſuchungen. 1851. — Sachs, Lehrbuch. 2. Aufl. S. 287. — Pfeffer in Sachs, Arb. d. bot. Inſt. in Würzburg. 1. Heft S. 77. Frank, Ueber Einfluß des Lichtes u. ſ. f. Pringsh. Jahrb. IX. S. 155.

dung entſchieden. Dreht man nach dieſer Friſt die Pflänzchen um, ſo haben ſich ſchon die beiden Seiten differenzirt. Die eine erhält trotzdem die anatomiſche Structur der Oberſeite, wiewohl ſie jetzt der Erde anliegt. Die andere erhält die Structur der Unterſeite.

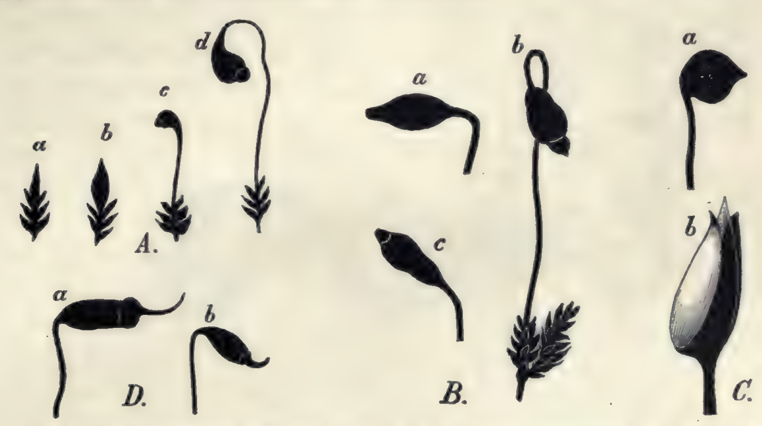


FIG. 239. *A.* Funaria hygrometrica. *B.* Bryum nutans. *C. a* Bartramia, *b* Buxbaumia. *D.* Dicranum scoparium.

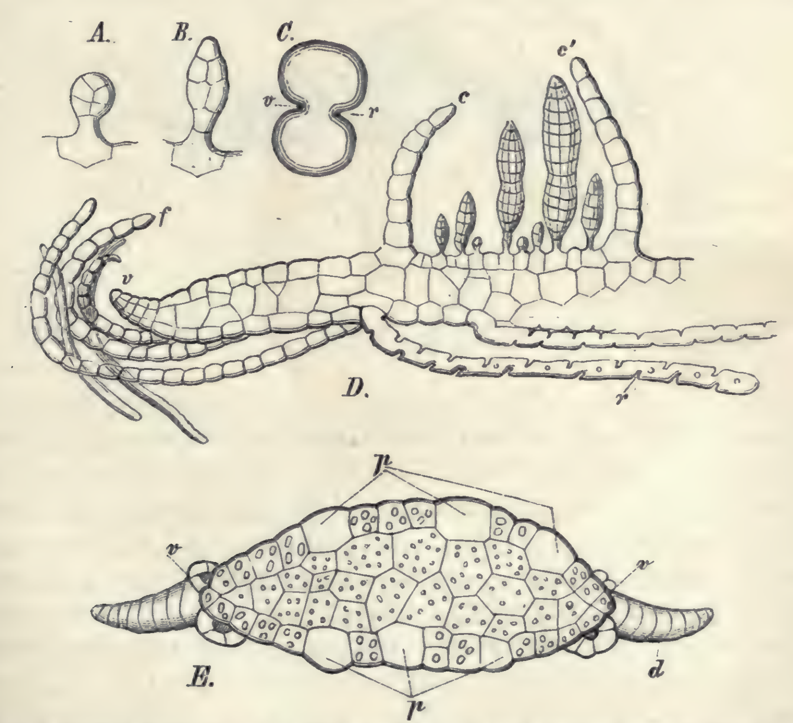


FIG. 240. Marchantia polymorpha. *A. B.* Junge Brutknoſpe. *C.* Reife Brutknoſpe, ſchwächer vergr. *D.* Axiler Durchſchnitt durch das Lager und einen Brutbecher *c c'*. *v* Vegetationspunkt des Lagers, *f* die Blätter, welche der Unterſeite entſproſſen und häufig über den Vegetationspunkt gekrümmt ſind, *r* die Wurzelhaare. *E.* Durchſchnitt parallel der Richtung *v v* Fig. *C* durch eine Brutknoſpe, *p* Zellen, welche die Haare bilden, *v* die Vegetationspunkte.

Den Angaben MIRBEL's tritt PFEFFER auf Grund einer Reihe von Experimenten entgegen. Er kommt zu diefen Refultaten: die Zellen, welche zu Wurzelhaaren auswachfen, find fchon auf den beiden gleichen Seiten vor der Ausfaat, an dem hyalinen Inhalt und durch die Größe kenntlich. Diefe Zellen wachfen unter geeigneten Bedingungen zu Wurzelhaaren aus, durch eine in ihnen belegene Keimkraft. Diefe Kraft wird durch die Schwerkraft aufgehoben, wenn die Richtung diefer mit der Wachsthumsrichtung nicht zufammenfällt. Deßhalb werden auf der zenithwärts belegenen Seite

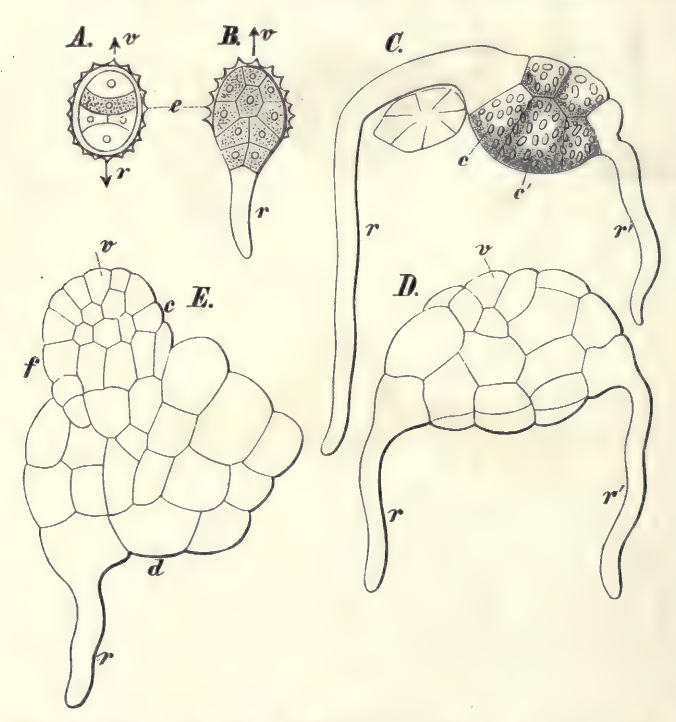


FIG. 241. Pellia epiphylla. *A.* Reife Spore. *B.* Ebenfolche drei Tage nach der Ausfaat, *v* Vegetationspunkt, *r* Wurzelende. *C. D. E.* Hintereinanderbelegene Entwickelungszuftände junger Keimpflanzen mit zwei Wurzelenden und einem feitlichen Vegetationspunkt *v*.

keine Haare gebildet. Liegt die zenithwärts gekehrte, urfprünglich indifferente Seite an einem feften Körper («fo wird in der Berührung eine Kraft gewonnen, welche mindeftens die hemmende Wirkung der Schwerkraft aufhebt»), fo bildet fie Wurzelhaare.

Die Haare bilden fich an der beleuchteten wie befchatteten Seite. Ein gewiffes Maß von Licht ift indeß nothwendig. Sie bilden fich fpärlich oder gar nicht aus an vollftändig verdunkelten Pflänzchen. «Wenn eine Brutknofpe auch bereits Wurzelhaare trieb, fo ift damit noch nicht die Bilateralität „inducirt", fondern diefe bildet fich erft an den hervorwach-

ſenden Sproſſen aus, welchen ſie aber auch gleich mit deren Erſcheinen unwiderruflich inhärent wird. Die beleuchtete Seite der Sproſſe, wie auch deren Länge ſein mag, wird unter allen Umſtänden zur ſpaltöffnungsführenden Oberſeite, die beſchattete wird zur Unterſeite, welche Wurzelhaare und Blattlamellen hervorbringt. Auch nachdem die Seitenſproſſen ſich gebildet haben, iſt die Brutknoſpe ſelbſt noch beiderſeits gleichwerthig.»

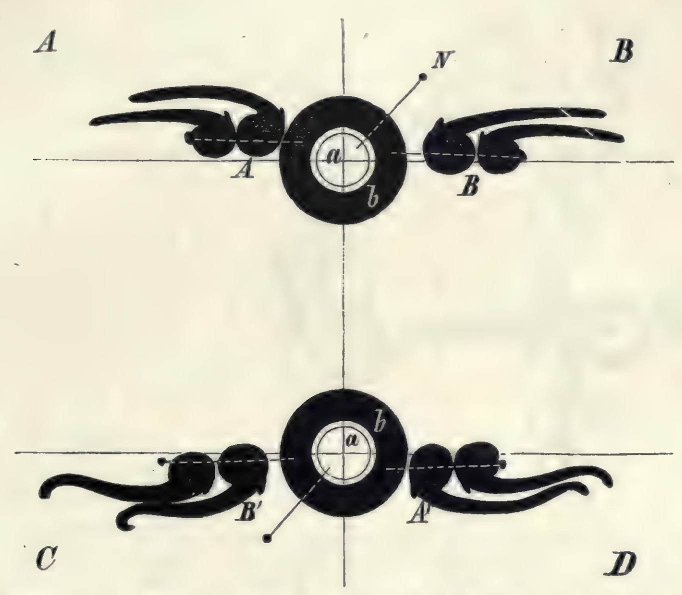


FIG. 242. Vorrichtung, um durch den Verſuch zu zeigen, daß die Spannkräfte in ſonſt lothrecht wachſenden Pflanzentheilen bei horizontaler Aufſtellung polariſirt werden, lange bevor die geotropiſche Krümmung ausgeführt iſt. *a* iſt ein an der Coordinatentafel *A B C D* befeſtigter Kork, *b* ein Korkring, an welchem die Keimlinge befeſtigt ſind. Durch eine Nadel *N* kann *b* in jeder Lage zu *a* feſt erhalten werden. *A B* die Anfangslage der Keimwurzel, *A' B'* die Lage nach der Polariſation in der Anfangslage und nach der Drehung von *b* um *a* um 180°. Das Erſte, was hiebei eintritt, iſt die Krümmung zenithwärts, erſt ſpäter folgt die + geotropiſche.

Die Pellienſporen, Fig. 241 *A*, ſind elliptiſch vielzellig. An dem einen Ende entwickelt ſich zuerſt, und in der Regel allein, 2—3 Tage nach der Ausſaat das erſte Wurzelhaar, dort durchbricht das Lager auch zuerſt das Exoſporium *r* Fig. 241 *B*. Am entgegengeſetzten Ende bildet ſich (bei *v*, Fig. 241 *B*) der Vegetationspunkt des Lagers. Die beiden Enden beſtimmen ſomit in der Regel ihre künftige Function. In ſeltenen Fällen, Fig. 241 *C*, geräth eine Spore in eine Lage, in welcher beide Enden, *r* und *v*, Fig. 241 *A*, Wurzelhaare treiben, alsdann geht offenbar dem Sporenkörper der Ort dauernder Verjüngung aus beiden Polen verloren. Er hilft ſich, indem er eine Randzelle zum Vegetationspunkt umbildet, Fig. 241 *D*. So entſteht ein neuer Zweig *f c* in Fig. 241 *E*, welcher mit dauernder Zelltheilung im Scheitel *v* ausgerüſtet iſt.

An allen poſitiv und negativ geotropiſchen Pflanzen läßt ſich zeigen, daß, wenn ſie horizontal aufgeſtellt werden, Fig. 242, 243, innerhalb der wachsthumsfähigen Stücke Spannkräfte angehäuft werden, ehe noch die Krümmung, welche aus der abnormen Lage in dem Experimente gefordert wird, erfolgt. Die Erbſenkeimlinge, Fig. 242, ſind mit den Cotyledonen in *b* befeſtigt.

Dreht man nun, nachdem die Wurzeln in *A* und *B* 2—3 Stunden in der Lage, Fig. 242, belaſſen waren, den Korkring *b* um *a* um 180°, ſo führen die Wurzeln zuerſt in Folge der vorhergehenden Einwirkung der Schwere eine geringe Beugung im poſitiv geotropiſchen Sinne, bezogen auf die erſte Lage, aus und dann erſt eine zweite Krümmung im Sinne der Schwerkraft und der neuen Lage (dies iſt durch die untere Figur in Fig. 242 dargeſtellt).

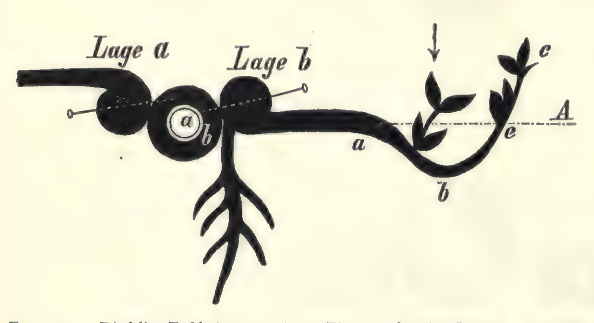


Fig. 243. Dieſelbe Erſcheinung, wie in Fig. 242 für den Stamm. Derſelbe war geradlinig gewachſen, wurde in der Lage *a* polariſirt, vor der Krümmung in die Lage *b* gebracht (durch Umdrehen von *b* um *a*) und führt hier zuerſt eine poſitiv-geotropiſche Krümmung *a b* und ſpäter eine negativ-geotropiſche Krümmung *b c* aus.

Die Verſuche wurden mit Hilfe einer Coordinaten-Glastafel *A B C D* Fig. 242, 243 ausgeführt, welche ſenkrecht ſtehend, in *a* einen feſten Korkzapfen tragen, um welchen der Korkring *b* gedreht wird. Man ſieht, daß die Wurzeln der Erbſe vor der Drehung in der erſten Lage, Fig. 242, gerade, nach der Drehung um 180° ſich aufwärts krümmten, um erſt ſpäter die für dieſe zweite Lage geſetzmäßige Krümmung zu zeigen. Fig. 243 zeigt die analoge Erſcheinung für den Stamm.

Denkt man ſich dieß Experiment in der Weiſe fortgeſetzt, daß man das Syſtem jedesmal kurz vor dem Eintritt der geſetzmäßigen Krümmung (alſo in Intervallen von 2—3 Stunden) mit Hilfe des Korkrings um 180° dreht, ſo kann man es offenbar dahin bringen, daß Stamm und Wurzel im Zickzack, aber immer ſo wachſen, daß ſie die ſonſt gewohnten Richtungen in Bezug auf diejenige der Schwere umkehren. Fig. 244 ſtellt das Syſtem nach ſechsmaliger Umkehrung um die Achſe *m* dar. Die Pfeile bedeuten die Richtung der Schwere während der Dauer je einer Biegung aus der Richtung der Achſe *A*.

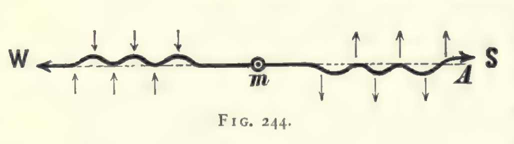


Fig. 244.

Würde man endlich das Syſtem noch um *A* als Achſe drehen, ſo entſtünden offenbar aus den ſonſt geraden Gebilden Schraubenlinien.

9. Vorbestimmung der Gewebe, welche Adventivsprosse bilden (Polarität der Gewebe)[1]).

An jedem Zweigabſchnitt (Steckling) der Weide läßt ſich, wenn ſchon äußerlich keine Merkzeichen für oben und unten (wie ruhende Knoſpen etwa) vorhanden ſind, das Ende, welches nach der Wurzel hinweiſt, bezeichnen und unterſcheiden von dem nach der Spitze hin belegenen Ende. Stellt man zwei ſolcher Abſchnitte, in welchen jede adventive Knoſpenbildung bis zu dieſem Zeitpunkte fehlte, ſo auf, daß das eine Stückchen ſein Wurzelende *W* nach unten kehrt, während das andere umgekehrt ſteht, Fig. 245, ſo entwickeln ſich im dunſterfüllten Raum und bei geeigneter Temperatur die Wurzeln ſtets an den Wurzelenden. Die vorhandenen Blattknoſpen treiben in einem Falle, Fig. 245 *B*, ſich negativ geotropiſch krümmend, in der gewohnten Weiſe aus. Man muß hieraus ſchließen, daß in ſolchen Stücken durch die hiſtologiſche Anordnung auch die Möglichkeit derjenigen Zelltheilungen begründet liegt, welche zur Bildung der Adventivknoſpen führt, wiewohl der obere und der untere Querſchnitt von gleicher Beſchaffenheit am Mikroſkop erſcheinen.

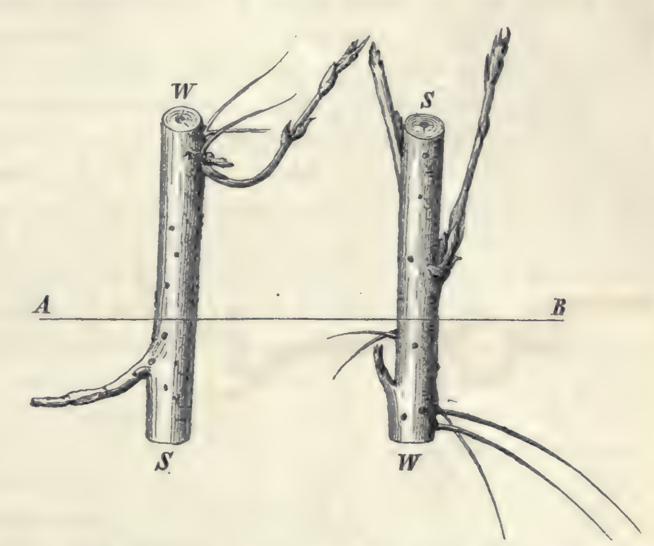


Fig. 245. Weidenſtecklinge wurden am 24. Januar 1877 in Waſſer geſteckt, deſſen Oberfläche durch *A B* dargeſtellt iſt, ſie wurden mit einer Glocke bedeckt, ſo daß die Luft ſtets feucht blieb, und in mäßig geheiztem Zimmer aufbewahrt. Gezeichnet am 16. Februar 1877.

B. Formbedingender Einfluss des Lichtes[2]).

Die Bewegungen, welche hier abzuhandeln ſind, werden am beſten verſtanden, wenn man beachtet, daß alle Pflanzen mit Ausnahme niederer paraſitärer Pilze von dem Momente der ſelbſtändigen Entwickelung der Be-

[1]) Vöchting, Ueber Organbildung im Pflanzenreich. Bonn. M. Cohen und Sohn. 1878. — Kny, Separatabdr. aus dem Sitzgsber. vom 21. März 1876 der Geſellſchaft naturforſchender Freunde in Berlin.

[2]) Gr. Kraus, Ueber die Urſachen der Formänderungen etiolirender Pflanzen. S. 209. Pringsh. Jahrb. Bd. V.

ſtrahlung die größte Fläche entgegenzuſtellen beſtrebt ſind. Die Ernährung, welche während der Entwickelung das verfügbare Baumaterial ſchafft, iſt ſelbſt von dem Lichte abhängig. Ernährung, Wachsthum und Orientirung zum Lichtſtrahl ſind Vorgänge, welche in der Zeit parallel laufen. Faſt alle im Habitus auffällige Lagen zu dem einfallenden Strahle ſind vererbliche Züge, welche durch den Wechſel der Beſtrahlung (Tag und Nacht) nur wenig und in geringfügiger Weiſe verändert werden, mit Ausnahme weniger, freilich dann aber auch ſehr empfindlicher Reizpflanzen, ſpecifiſcher Schattenpflanzen und einiger Mooſe (Marchantieen).

In der Natur haben ſich als Licht- und Schattenpflanzen Vertreter aller Verwandtſchaftskreiſe angepaßt.

Die niederſten Pilze ſind in hohem Grade ſchattenertragend, da ſie zum großen Theile im Innern lebender Pflanzen und Thiere oder deren Leichen zu leben vermögen. Die Algen ſind ſämmtlich im höchſten Grade lichtbedürftig.

Die nächſten Verwandten dieſer Arten, die Flechten machen die größte Anforderung an die Beſtrahlung. In dem Verwandtſchaftskreiſe der Mooſe ſind alle Organe zur vollſtändigſten Durchleuchtung ausgebildet, und es treten alle Grade in der Dichte der Beſtockung auf, ſowie auch Bewohner des tiefſten Schattens unſerer Wälder, wie auch lichtbedürftigſte Felſenbewohner und ſolche, welche auf nackteſtem Geſtein, auf Cultur- und Sandflächen an ihrem Wohnort den Mitbewerbern gegenüber herrſchend werden.

In allen höheren Verwandtſchaftskreiſen endlich ſind licht- und ſchattenbedürftige Arten oder Gattungen vertreten.

1. Folgen des Lichtmangels.

Experimentell ſind die Folgen des Lichtmangels durch Culturen in Dunkelräumen bis jetzt nur an höheren (Phanerogamen) Pflanzen unterſucht.

1⁰ Mit Ausnahme der Farrenprothallien und der Abietineenkeimlinge unterbleibt bei ſolchen Culturen, bei allen Pflanzen die Ausbildung des Chlorophylles, die Pflanzen bilden ein gelbes Pigment.

2⁰ Alle Blattgebilde werden rudimentär.

3⁰ Die Stammtheile werden übermäßig verlängert, bleiben meiſt mit Ausnahme der Knoſpen farblos (ſie vergeilen). Dieſe letzteren bilden ein gelbes Pigment.

4⁰ Die Gefäßbündel werden rudimentär, ſie zeigen geringere Anzahl der Zellenelemente und geringere Maſſe.

5⁰ Die Gewebeſpannung zwiſchen poſitiven (Mark- und Rindenparenchym) und negativen (Holz und Epidermis) Geweben iſt verſchwindend klein. Alle Gewebe wachſen nahezu gleich raſch.

Dieſer Zuſtand wird das Etiolement genannt. Die Laubblätter bleiben unentwickelt, weil ihr Weiterwachſen vom Licht in der Weiſe abhängt,

daß das zum Wachſen nöthige Bildungsmaterial im Chlorophyll des Blattes geſchaffen werden müßte. So kommt es, daß die Blätter in dem Zuſtande verharren, in welchem ſie normaler Weiſe aus der Samenſchale treten.

Die etiolirten Internodien zeigen in ihrer anatomiſchen Structur geringere Ablagerung von Celluloſe, rudimentäre Ausbildung der Gefäßbündel und dadurch geringere Feſtigkeit.

Die Ueberverlängerung der etiolirten, gegenüber der gedrungenen im Licht erzogenen Pflanze, beruht auf größerer Streckung der wachſenden Zellen. Das Mark, welches in den Lichtpflanzen comprimirt, iſt bei der etiolirten ohne Spannung, alle Gewebe haben die äußerſte Ausdehnung erhalten.

«Während in den normal wachſenden Stengelgliedern der treibende, die Verlängerung herſtellende Theil, das Mark nur in der erſten Periode des raſcheſten Wachsthums die Ueberhand über die äußeren Gewebe hat und dieſelben unbedingt zu ſtrecken vermag, in einer zweiten Periode aber mit der Elaſticität der äußeren Gewebe in einen antagoniſtiſchen Kampf tritt, in welchem dasſelbe in der dritten Periode des Wachsthums überwunden und gezwungen wird, ſeine Wachsthum erregende Kraft zu ſiſtiren und die Länge der äußeren Gewebe dauernd anzunehmen: bleiben die etiolirten Internodien ihr Leben lang auf einer Entwickelungsſtufe ſtehen, in welcher die peripheren Gewebe eben aus Mangel einer Weiterbildung durchaus dehnbar ſind und von dem Mark ohne Hinderniß ausgezogen werden können»[1] (ſie ſind nicht dehnbar, ſondern ſie wachſen gleichſchnell mit dem Mark).

«Durch dieſes Stehenbleiben der äußeren Gewebe auf einer ganz niederen Entwicklungsſtufe iſt dem Mark zunächſt die Möglichkeit der Ueberdehnung der peripheren Gewebe gegeben und ſie wird in Wirklichkeit eintreten, wenn das Mark, im Gegenſatz zu den übrigen Geweben, die Fähigkeit hat im Finſtern zu wachſen.»

Die Gewebe wachſen durch Waſſeraufnahme (alle etiolirten Pflanzen beſitzen einen höheren Procentſatz an Waſſer) und ſo kommt es, daß die Markzellen im Finſtern nicht allein ihre Normalgröße, d. h. diejenige Größe, welche dieſelben iſolirt anzunehmen im Stande wären, erreichen, ſondern durch reichlichere Waſſeraufnahme noch weit über dieſe Größe hinausgehen und zu dieſer ſelbſt die widerſtandsloſen peripheren Gewebe dehnen.

2. Einseitiger Bestrahlung angepasste Pflanzen

ſind:

1° die Flechten, welche ſonſt die geringſten Anforderungen an Temperatur und Bodenunterlage ſtellen. Sie beherrſchen ausſchließlich die hochalpine Region unſerer Hochgebirge und die arktiſche Zone.

[1]) Kraus, Ueber die Urſachen der Formänderung etiolirter Pflanzen.

2⁰ die Lebermooſe, Marchantieen, Riccieen, welche ſtets flache dichotome Lager bildend, die Unterlage überziehen;

3⁰ die Jungermannieen, welche zum Theil im Schatten der Wälder, den Boden, zum Theil die glattrindigen Bäume beſiedeln;

4⁰ die kriechenden Phanerogamen aus faſt allen Verwandtſchaftskreiſen.

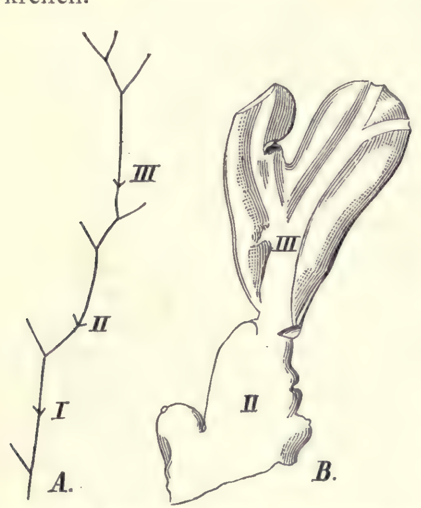


Fig. 246. Flaches Lager, welches den Erdboden in horizontaler bis lothrechter Lage überzieht, von Marchantia polymorpha.

Zu Verſuchen eignen ſich am Beſten die Marchantieen; werden die Raſen der Marchantia, Frullania und a. m. von ihrem Wohnort in einen Raum gebracht, in welchem geringere Lichtintenſität herrſcht, wie dort, ſo entwickeln ſich die neuen Sproſſe ſchwächer, ſchlanker und ohne ſich der Unterlage anzuſchmiegen, ſie beugen ſich negativ geotropiſch. Die Pflanzen nehmen dadurch einen ganz abweichenden Habitus an. In der Fig. 246 ſind *I II* die Jahrestriebe, welche von dem Lager draußen im Freien gebildet wurden, *II III* die ſpäteren, in der Cultur bei diffuſem Lichte entſtandenen. Die Zuwachsgröße der letzteren erreicht den doppelten bis dreifachen Werth der erſteren.

3. Negativer und positiver Heliotropismus.

In Bezug auf die Richtung, welche gegen den Lichtſtrahl eingehalten wird, nennt man den Pflanzentheil poſitiv-heliotropiſch, wenn er bei einſeitiger Beſtrahlung mit der wachsthumsfähigen Spitze ſich ſo krümmt, daß er dem Strahle entgegen eilt, negativ-heliotropiſch, wenn der Pflanzentheil das Licht flieht, alſo in der Richtung des Strahles ſich beugt oder wächſt, Fig. 247. Der poſitive Heliotropismus beugt den Pflanzentheil ſo, daß die beleuchtete Seite die concave wird. Beim negativen Heliotropismus aber iſt die beleuchtete Seite die convexe. Die Urſache ſolcher Beugungen iſt eben die einſeitige Wirkung der Beſtrahlung. Iſt der cylindriſche Pflanzentheil in dem einen oder anderen Sinne ſo weit gebeugt, daß ſeine Axe mit der Richtung des Strahles zuſammenfällt, ſo iſt offenbar eine Bewegung nicht mehr möglich, da der Schatten des Organes in ſeine Grund- oder Querſchnittsfläche fällt.

a) Stämme und Wurzeln[1]).

Die heliotropiſchen Krümmungen kommen draußen im Freien überall da zum Ausdruck, wo Pflanzen ſich in einer Ebene ausbreiten, oder an undurchſichtigen Stützen oder Unterlagen hinwachſen. Der poſitive Heliotropismus führt ſolche Pflanzen von der Stütze oder Unterlage (Erde) hinweg, der negative aber zwingt ſie, ſich der Stütze oder Unterlage anzuſchmiegen.

Dafern nicht mit der Streckung eine raſche Erſtarrung eintritt, nehmen die wachſenden Theile die Lage an, in welcher ſie das Maximum der Beſtrahlung erhalten.

Die erdſtändigen Blattroſetten vieler Pflanzen, Craſſulaceen u. a. m. ſtrecken ihre Stengel ſo, daß die Roſette über den Boden erhoben wird, wenn die Pflanzen verdunkelt waren. Daraus iſt zu ſchließen, daß dieſelben im normalen Beleuchtungszuſtande negativ-heliotropiſch ſind und daß unter dem Einfluß des Lichtes das Zuwachsmaß ſo wie die Gewebeſpannung in gewiſſem Sinne beſchränkt oder zurückgehalten wird, gegenüber dem Verhalten in der Dunkelheit.

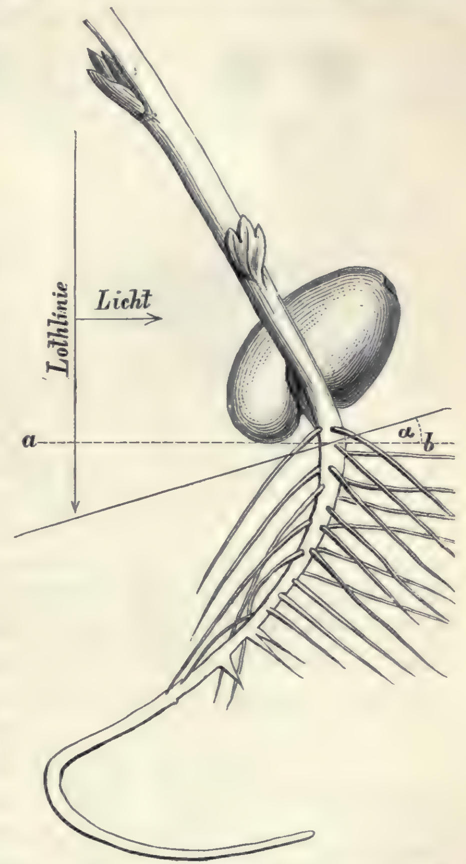


FIG. 247. Vicia Faba auf ſchwimmendem Keimbett erzogen. Ausſaat am 26. Januar 1877, gezeichnet am 20. Februar bei einer Geſammthöhe des oberirdiſchen, grünen Theiles von 31 cm. Die Hauptwurzel wuchs Anfangs nach unten ſenkrecht, bog ſich bald, wie die Zeichnung darthut, nach der einen und zwar der Lichtſeite. Bald verließ auch der Stengel die Anfangs ſenkrechte Lage und wendete ſich gleichfalls dem Lichte zu. Dieſe Bewegungen wurden gleichzeitig von einer Anzahl Erbſen, die auf demſelben Keimbett wuchſen, ausgeführt, das letztere wurde dadurch allmälig um den Winkel *α* aus der horizontalen Waſſerfläche *a b* gehoben. Hierauf wuchſen die Hauptwurzeln der Vicia und dreier Erbſen zunächſt ſenkrecht nach unten, dann in der der erſten Biegung entgegengeſetzten Richtung. Die Wurzeln der anderen Erbſenpflanzen zeigen auch Biegungen, doch nicht ſo regelmäßig.

b) Blätter.

Die Bewegung der Laubblätter in Folge der Beſtrahlung iſt viel mannigfaltiger wie die der Stengel.

Das Blatt der höheren Pflanze, in der Knoſpe mannigfach gefaltet, iſt ſo gelagert, daß ſeine Axe mit

---

[1]) Studienmaterial: Epheu, Vitis, Ampelopſis Bryonia, die Marchantieenlager und viele andere.

der Knofpenaxe nahezu zufammenfällt, Fig. 248. Bei der weiteren Entfaltung dreht es fich bei manchen Pflanzen, fo bei den Juftitien, Fig. 248, zunächft faft um 180°. Die morphotifche Innenfeite wird nach außen gekehrt, fpäter erft ftellt fich die Fläche möglichft normal zum Lichtftrahl.

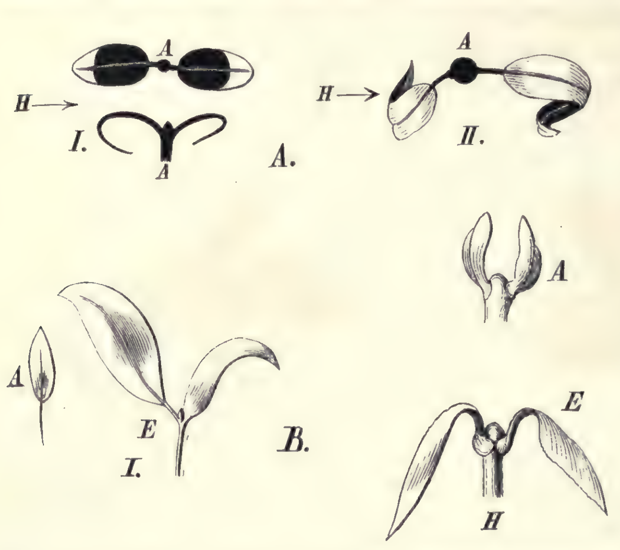


Fig. 248. *A.* Projection der Blätter auf eine Ebene, fenkrecht zur Axe in Richtung des Pfeiles fällt das Licht ein, in *I.* die Längsanficht, in *II.* die Oberfeite weiß, die Unterfeite fchwarz. *B.* Lagenänderung der Blätter der Juftitia bei der Entfaltung. *I.* bei einfeitiger Beleuchtung, *II.* bei gleichmäßiger Beleuchtung, *A* Anfangs-, *E* Endlage.

Bei der graphifchen Darftellung folcher Drehungen möge das Schema Fig. 249 angewandt fein. *c* bedeute den Querfchnitt des Stengels in der Infertionsebene der Blätter. Die Ellipfe *c W* foll das Blatt einmal in feiner nicht verkürzten Fläche gefehen bedeuten. Seine Axe *c W* fteht alsdann fenkrecht zur Stammaxe *c*. In diefer Lage kann das Blatt eine Drehung um *c W* befchreiben. Es wird alsdann in unferer Projection zur fchmalen Ellipfe *e v*. Es kann eine Winkeldrehung um *c* befchreiben, fo daß der Winkel zwifchen *c W* und der Axe kleiner wird, feine mittlere Lage wird alsdann durch den kleinen Kreis angedeutet. Es kann in diefer Lage wiederum um die Axe *c W* fich drehen und wird zur kleinen Ellipfe *c d*.

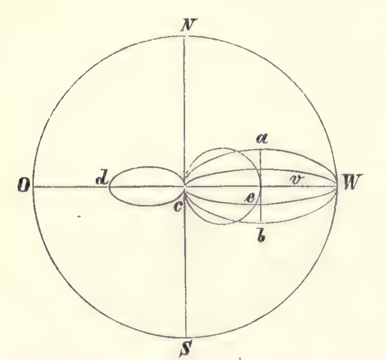


Fig. 249. Wenn in *c* die blättertragende Axe projicirt ift, wenn *c w* die fenkrecht zur Axe orientirte Blattfläche in ihrer ganzen Breite bedeutet, fo foll das Schema die Projection der Blattfläche auf die Ebene der Figur in verfchiedenen Lagen des Blattes demonftriren. Das Blatt hebt fich aus der Ebene und nähert fich dem Stamm nach oben oder unten: feine Projection wird zum Kreis. Es dreht fich fodann um feine eigene Axe und wird zur Ellipfe in feiner Projection.

In diefer Weife mögen einige der wichtigeren Lagen zum Loth und Lichtftrahl verzeichnet fein.

Die Zweige der Coriaria, Fig. 250, und Cornus sanguinea, Fig. 251, ftehen aufrecht oder wenig geneigt; in der Richtung der Pfeile, f. Fig., fällt das Licht ein. Das vordere Blatt, bezogen auf diefe Richtung, bleibt in

der normalen Lage, ebenſo die beiden Blätter des Wirtels *II*. Das hintere Blatt aber hebt ſich, ſo daſs ſeine Projection zum Kreiſe wird. Ebenſo verhält ſich Cornus, Fig. 251, mit dem Unterſchiede, daſs die beiden Blätter *IIa* und *b* ſich heben und ſo drehen, daſs die groſse Ellipſe, welche in der Figur verzeichnet iſt, zur kleinſten Ellipſe der Projection wird.

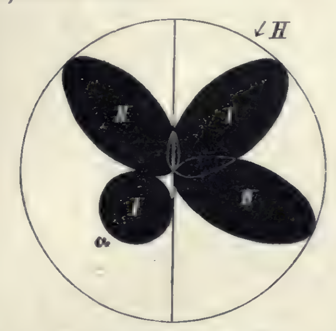


FIG. 250. Coriaria myrtifolia (Projection nach Fig. 249). Stamm lothrecht, das Licht fällt mit dem Pfeil ein. Das Syſtem iſt in dieſer Richtung ſymmetriſch, *I a* hat ſich dem Stamm nach oben genähert.

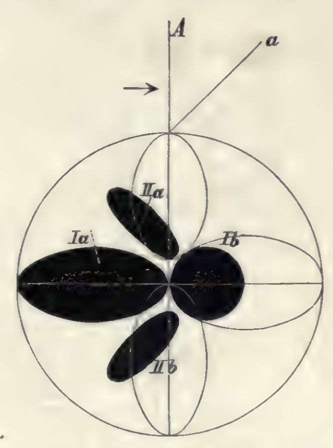


FIG. 251. Cornus sanguinea (Projection nach Schema 249). Die Axe hat die Lage *a* zu einem lothrecht ſtehenden Aſt *A*, in Richtung des Pfeiles fällt das Licht ein. Das Syſtem wird in dieſer Richtung ſymmetriſch.

Am lothrechten Zweige von Cornus, Fig. 252 *A*, haben ſich alle Blätter gehoben und um ihre Axe ſo gedreht, daſs ſie das Maximum des Lichtgenuſſes erhalten. An einem hängenden Zweige von Buxus sempervirens, Fig. 252 *B*, haben ſich die drei aufeinanderfolgenden Wirtel verſchieden orientirt:

1⁰ Iſt ſymmetriſch: Drehung um die Axe des Blattes.

2⁰ Iſt aſymmetriſch, *IIa* hat ſich gehoben, *IIb* hat ſich gehoben und um ſeine Axe gedreht.

3⁰ Iſt ſymmetriſch: Drehung wie vorher und Hebung des Blattes.

Die Stengelblätter nehmen durch Axendrehung endlich eine zum Lichtſtrahl normale Lage an. Bezogen auf den mit dem Pfeil einfallenden Strahl haben 4 in zweigliedrigen Wirteln ſtehende Blätter die Anfangslage *A*. Das vordere Blatt dreht und beugt die morphologiſche Oberſeite convex; das hintere Blatt aber wird dort concav, die ſeitlichen drehen ſich um 90⁰ um ihre Blattrippe als Axe.

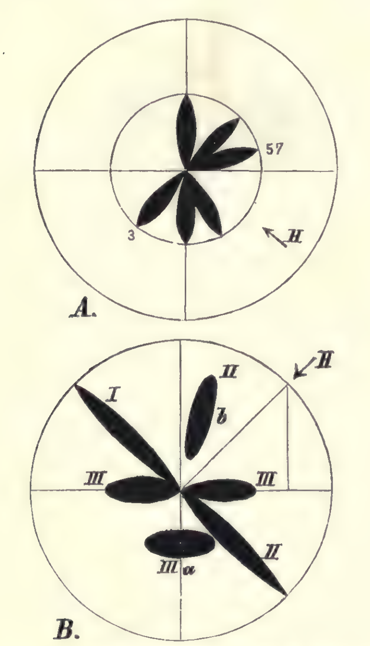
Dieſe Drehungen werden zum Theil durch den Hauptblattſtiel bei den einfachen und durch die Polſter bei gefiederten Blättern vollführt. Rankende Blätter zeigen vor Allem auffällig, wenn ſie gefiedert ſind, dann die Drehung der Einzelblätter, wenn das ganze Blatt durch die Ranken ſo befeſtigt iſt, daſs es ſich nicht drehen kann (Pisum. Vicia). Der Heliotropismus und der Geotropismus wirken bei vielen (wohl allen) Blättern

zufammen, der Stiel ift negativ-geotropifch. Die Spreite ift pofitiv-heliotropifch. Spiræa u. a. (Epheu, Aralien, Keimpflanzen).

4. Theorie der Bewegung. Versuche über die Lichtstärke, welche nöthig ist die Pflanze zu afficiren[1]). Zur Theorie der Reizung[2]).

Draußen im Freien wirkt das Licht mit großer Intenfität und durch die Diffufion der wiederholt reflectirten Strahlen gleichmäßiger wie in einem für das Experiment hergerichteten Dunkelraum, in welchem mit Hilfe der Helioftaten ein divergentes Lichtbüfchel eingelaffen wird. Am beften werden in Verfuchen die Keimpflänzchen dicotyler Pflanzen angewendet. Das dankbarfte Object ift die Kreffe.

Die Keimpflänzchen der Kreffe zeigen beide Krümmungen folcher farblofer und gefärbter Stengel. Das hypocotile Stengelglied ift nämlich in der Nähe des Bodens bei *a*



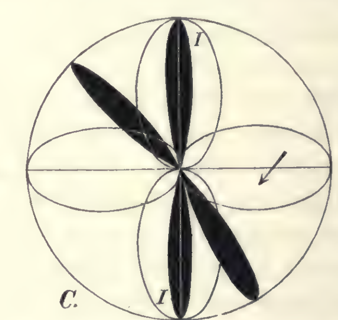


Fig. 252. *A.* Cornus sanguinea (Projection nach dem Schema 249). Lothrechter Zweig, in Richtung des Pfeiles fällt das Licht ein. *B.* Buxus sempervirens. Hängender Zweig, in Richtung des Pfeiles fällt das Licht ein. *C.* Deutzia und Philadelphus. Horizontalftehender Zweig, in Richtung des Pfeiles fällt das Licht ein, *I I* ift der Wirtel, deffen Infertionsebene horizontal fteht.

---

[1]) Die Pflanze und das Auge als verfchiedene Reagentien für das Licht. Jul. Sachs, Arbeiten des botan. Inftituts in Würzburg. Leipzig 1872. Engelmann's Verlag.

[2]) Das Fechner'fche Gefetz der Reizung fagt aus: die Reizung hängt von der bewegenden Kraft, welche den Reiz hervorbringt, in der Weife ab, daß fie umgekehrt proportional jener aufgewandten Kraft ift. Wenn y die Lichtintenfität ift, welche die Reizung x an der Pflanze hervorbringt, und es wächft die Intenfität um dy, fo wächft dadurch der hervorgebrachte Reiz um $\frac{1}{dy}$. dy ift alfo gleich $\frac{dx}{x}$, wenn man integrirt

$$\int \frac{dx}{x} = lgx, \text{ alfo } y = flgx.$$

Die Reizung ift um fo intenfiver, je geringer die Quantität der aufgewandten reizenden Kraft war bezogen auf dasjenige Maß der Kraft, welches den vollftändigen Endeffect der Reizung hervorbringt.

(Fig. 253) farblos, gegen das beblätterte Ende hin grün gefärbt. Stehen nun die Pflänzchen in einem parallelopipediſchen Topf dicht hintereinander in Richtung des Lichtſtrahls, ſo findet man ſtets, daß die vorderen ſich bei *a* (Fig. 253) ſehr ſtark poſitiv beugen, an einem Orte alſo, wo das Licht keine ſpecifiſche Abſorption erfährt und wo das Wachsthum am kleinſten iſt. Die hinteren Pflänzchen beugen ſich aber an dem Orte, wo das Wachsthum am ſtärkſten iſt, bei *b* (Fig. 253). Bei dieſen iſt die Stelle *a* offenbar ſchwächer beleuchtet, wie bei dem vorderen. (Die grüne Farbe nimmt an dem Pflänzchen mit dem Pfeil α zu; das Licht fällt in's Dunkelzimmer, parallel dem Pfeile β).

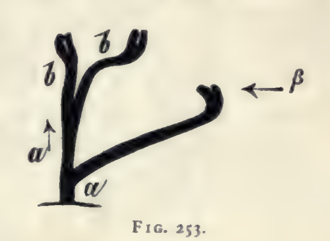


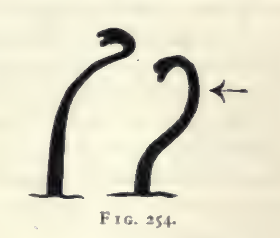
Fig. 253.

Wächſt die hintere (Schatten-)Seite ſtärker, ſo tritt die Erſcheinung des poſitiven Heliotropismus, wächſt die vordere (Lichtſeite) ſtärker, ſo tritt negativer Heliotropismus ein.

Stellen wir uns nun vor, es ſei eine beſtimmte Strahlengattung, gleichgültig ob dunkle oder helle Wärmeſtrahlen, welche das ſtärkere Wachſen veranlaſſe, ſo wird der negative Heliotropismus die häufigere Erſcheinung ſein müſſen, eben weil die hintere Seite weniger von dieſer Strahlengattung erhält wie die vordere.

Der poſitive Heliotropismus wurde ſchon von Anderen früher als ein partielles Etiolement aufgefaßt.

Dieſe beiden Hypotheſen geben vereinigt aber nicht eine Vorſtellung der Beugungen, welche die Anſprüche einer Theorie machen kann. Denn wie erklärt man die Erſcheinung an einem und demſelben Pflanzentheil, welcher in einer Phaſe poſitiv, in einer ſpäteren negativ heliotropiſch iſt? Jedenfalls wird zwiſchen beiden Entwicklungsphaſen das Gewebe, welches die Licht- von der Schattenſeite trennt, eine Veränderung erfahren haben, bezogen auf die Durchläſſigkeit des Lichtes. Welcher Art iſt dieſe Veränderung?


Fig. 254.

Bei einem und demſelben Keimpflänzchen der Kreſſe, welches durch den Helioſtaten im Dunkelzimmer einſeitig beleuchtet wird, ſehen wir, daß der obere jüngere Stengeltheil negative, während der ältere untere poſitive Beugung zeigt. Der erſtere krümmt ſich convex, der letztere concav gegen den Strahl. Beide Stengeltheile unterſcheiden ſich aber nur dadurch, daß ſie in verſchiedener Phaſe des Wachsthums ſind.

Daraus geht denn auch hervor, daß nach den von mir aufgeſtellten und beobachteten Curven des Wachsthums (Bot. Ztg., Jahrg. 29, 1871)

für unfere Keimpflänzchen zwei gegenüberliegende Zellen oder Gewebeftreifen mit der Zeit einmal in den negativen, einmal in den pofitiven Heliotropismus übergehen, für eine und diefelbe Intenfität des Lichtes. *

10 parallelopipedifche Töpfe (jeder von $1^1/_2$ Fuß Länge) mit gleichaltriger im Dunkeln erwachfener Ausfaat der Kreffe werden zu einer 18 Fuß langen Colonne in der Dunkelkammer aufgeftellt und durch einen divergenten Lichtkegel beftrahlt. Die Intenfität des Lichtes in der kreisförmigen Oeffnung des Helioftaten = 1 gefetzt, verhalten fich die Intenfitäten, welche den in Fig. 255 cathetometrifch auf eine Coordinatenplatte gezeichneten Pflänzchen zukommen, wie die in der beifolgenden Tafel angegebenen Zahlen. Das letzte Pflänzchen b_{10} hingegen erwuchs während

*** Literatur (Heliotropismus).**

M. Payer, *Mém. sur la tendance des tiges vers la lumière. Compt. rend.* 1842. 15. S. 1194. Payer findet, daß die wachfenden Keimpflänzchen, einfeitig beleuchtet, fich gegen die Lichtquelle beugen; dagegen, wenn fie vorher im Dunkeln waren und fchon erwachfen find, krümmen fie fich zunächft und dann beugen (verneigen) fie fich vor dem Lichte (*se courbent, s'inclinent*). Es foll nicht nöthig fein, daß die Krümmungsftelle felbft beftrahlt fei (?), damit fie fich in Richtung der Lichtquelle beuge (?). Die Krümmung bleibt bei jungen Stämmen keine dauernde, wenn die Urfache (Licht) aufhört. Die Krümmung wächft, je fchwächer das Licht ift! Diefelbe ift unabhängig vom Medium: Waffer, Luft, Stickftoff, Wafferftoffatmofphäre. Von zwei Seiten beleuchtet, krümmt fich die Pflanze nach der ftärkeren Lichtquelle. Die Krümmung unterbleibt bei gleicher Lichtftärke der beiden Seiten. Krümmung tritt in den blauen und violetten ein, in den grünen, gelben und rothen Strahlen nicht. Das blaue Licht wirkt ftärker als das violette. Für die Beugung ift die chemifche Action der Strahlen ohne Einfluß. — J. Sachs, Wirkung farbigen Lichtes auf Pflanzen. Bot. Ztg. 1864. S. 361. Handbuch der Exper.-Phyfik d. Gew. S. 41. — Zandeschi, *Compt. rend.* 1843. — M. J. Payer, *Sur la tendance des tiges vers la lumière, Compt. rend.* 1843. 16. S. 986, findet, indem er fpectrofcopifch unterfuchte farbige Gläfer vor die Keimpflanzen ftellt und Ausfaaten durch das Sonnenfpectrum beftrahlt, daß die heliotropifche Krümmung in den blauen Strahlen am rafcheften eintritt. — *De l'inflexion des tiges végétales vers la lumière colorée.* M. Dutrochet. In diefer Abhandlung wird zunächft nachgewiefen, daß die Dicke der beugungsfähigen Stämmchen von Einfluß auf die Beugung ift, daß bei einem und demfelben rothen Strahl die Krümmung verfchiedener Pflanzen verfchieden rafch und intenfiv eintritt. Dutrochet macht dann noch darauf aufmerkfam, daß die hinter farbigen Gläfern ftehenden Pflanzen immer mehr etiolirt find, als die im gewöhnlichen Tageslicht (was fich von felbft verfteht), und daß bei der Behandlung der Objecte hinter farbigen Gläfern eine Intenfitätsbeftimmung nicht gut möglich ift. (*Ann. des sciences nat. 1843*). — M. Payer, *réponse à quelques observations critiques de Mr.* Dutrochet. *Compt. rend. tome 18.* S. 32. — D. M. Gardener, Ueber die Wirkung des gelben Lichts bei Erzeugung der grünen Farbe der Pflanzen, fowie über die Wirkung des indigofarbenen Lichtes in Betreff ihrer Bewegung nach dem Lichte. Froriep's Notizen. 1844. Nr. 649. «Wenn man eine Rübenfaat dem Sonnenfpectrum in einem Kaften ohne Fächer ausfetzt, fo bemerkt man, daß die Pflanzen fich fämmtlich einer gemeinfamen Axe zuneigen; die von den rothen, orangefarbenen, gelben und grünen Strahlen getroffenen neigen fich gegen den indigofarbenen Strahl, während die von dem violetten Strahle beleuchteten Pflänzchen fich jenen entgegenneigen. Setzt

der Verſuchszeit bei gleicher Temperatur (22° C.) in einem dunklen Blechkaſten. Dauer der Inſolation je 6 Stunden an 2 Tagen. Geſammtdauer des Verſuches 30 Stunden.

Entfernung vom Brennpunkt der dreizölligen Linſe.	Intenſität des Lichts.	Poſitive oder negative Beugung.
J 15 ctm	3,999	—
J_2 25 »	1,440	0
J_4 100 »	0,009	+
J_6 700 »	0,00018	+
J_8 1500 »	0,00004	+

Die Hypotheſen zur Erklärung der in dem Vorſtehenden geſchilderten heliotropiſchen Krümmung ſind die folgenden:

---

man das Experiment hinlänglich lange fort, ſo nimmt die Saat ſich aus wie ein Kornfeld, deſſen Halme durch zwei entgegengeſetzte Winde niedergelegt worden ſind. Die gemeinſchaftliche Axe, welcher ſich die Pflänzchen zuneigen, iſt die Linie, nach welcher der indigoblaue Strahl FRAUENHOFER's vom Prisma nach dem Samenbeete gerichtet iſt. Die in dem indigoblauen Licht ſelbſt ſtehenden Pflänzchen neigen ſich gerade nach dem Punkte des Prisma hin, von welchem aus ihnen das Licht zugeht; die vom rothen, orangefarbenen etc. Strahle getroffenen Pflänzchen richten ſich nicht direct nach dem Prisma, ſondern ſchief nach den Pflänzchen zu, welche vom indigofarbenen Strahl beleuchtet ſind. Dieſe ſeitliche Beleuchtung nimmt ab, je nachdem die Pflänzchen der Axe näher ſtehen, ſo daß die vom blauen und violetten Strahle getroffenen von der Linie, welcher die ſie beleuchtenden Strahlen folgen, nur wenig abweichen.» Aus dieſen und ähnlichen Verſuchen ſchließt Dr. GARDENER, daß die die Bewegung hervorbringende Kraft in dem indigofarbenen Strahl enthalten ſei. Weiter findet er: 1) daß die im Dunkeln erwachſenden Pflanzen empfindlicher ſind, als die grünen; 2) daß die heliotropiſche Krümmung bei längerem Verweilen im Dunkeln wieder verſchwindet. GARDENER ſtellt ſich übrigens vor, daß beſtimmten Strahlen, nach ſeiner Beobachtung den indigofarbenen, eine Art heliotropiſche Wirkung zukomme, und daß der Heliotropismus von der ſtrahlenden Wärme unabhängig ſei. — GUILLEMIN, *Production de la chlorophylle et direction des tiges etc., Annal. des sciences nat., tome VII.* S. 161, findet, daß die Krümmung gegen die ultravioletten Strahlen ſtärker als gegen jeden andern ſei. Er wandte verſchiedene Prismen an und kommt zu folgenden Reſultaten: 1) Junge etiolirte Pflanzen krümmen ſich unter dem Einfluß aller Strahlen des Sonnenſpectrums mit Ausnahme der wenigſt brechbaren Wärmeſtrahlen, oder der ſtrahlenden Wärme von niederer Temperatur. 2) Die weniger brechbaren Wärmeſtrahlen und die chemiſchen Strahlen von größerer Brechbarkeit als die violetten zeigen zwei Maxima der Wirkung auf die Krümmung der Stengel. Das erſte Maximum der Krümmung liegt zwiſchen den Strahlen *H* und *J*. Das zweite von geringerer Wirkung kommt den Wärmeſtrahlen zu und rückt um ſo mehr gegen *E* und *C*, je höher die Sonne ſteht. Dieſe beiden Maxima ſind durch das bei *F* liegende Minimum getrennt. Die ſeitliche Krümmung (?) erſtreckt ſich jenſeits des äußerſten Roth und Violett; ſie hat als Centrum die

1⁰ Licht-, reſp. Wärmeſtrahlen, die ein gerades, aber zur Beugung disponirtes Keimpflänzchen einſeitig treffen, ohne eine Krümmung zu ver-

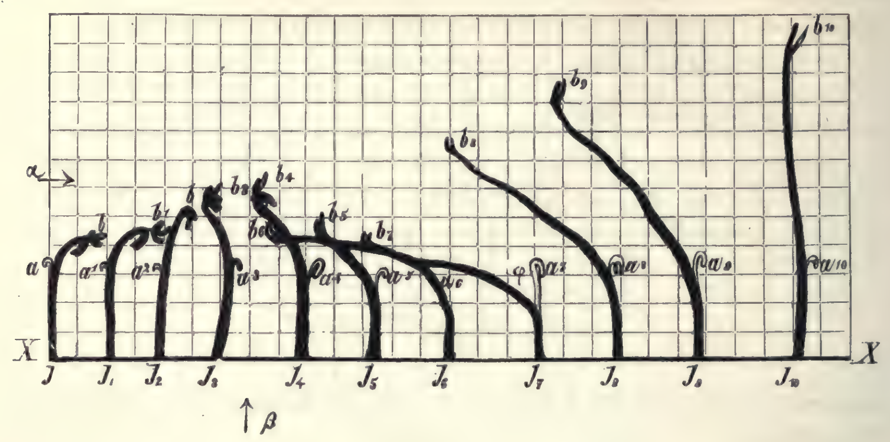


Fig. 255.

anlaſſen, müſſen dasſelbe ungehindert durchſtrahlen, ſo daß der Unterſchied der mechaniſchen Wirkung für Vorder- und Hinterſeite verſchwindend klein iſt;

2⁰ am kleinſten iſt dieſer Unterſchied für die rothen und dunklen Wärmeſtrahlen; er wird um ſo größer, je mehr man ſich dem violetten Ende nähert.

Das Etiolement (Vergeilen) iſt der Zuſtand, in welchen wachſende Pflanzen in abſoluter Dunkelheit übergehen. Es iſt aber leicht einzuſehen, daß zwiſchen dieſem und dem gewöhnlichen ſogenannten Lichtzuſtande für

---

Indigoſtrahlen und tritt häufig ein, trotz der Schirme, welche die einzelnen Strahlen trennen (?). — Zandeschi, *De l'influence qu'exercent sur la végétation et la germination des graines les rayons soleures etc. Compt. rend. 1843.* S. 747. — J. Sachs, Wirkungen farbigen Lichtes auf Pflanzen. Bot. Ztg. 1864. S. 362. «Ganz anders iſt das Verhältniß der heliotropiſchen Krümmung zu dem verſchiedenfarbigen Licht, was beſonders bei Sinapis und Carthamus hervortrat: im orangen Lichte blieben die Stengel völlig gerade, wie im Finſtern, im blauen krümmten ſie ſich in Bogen von 60—80⁰ concav nach dem Fenſter hin. Dieſe Thatſache, die ich ſchon früher kennen gelernt habe, ſtimmt nicht genau mit den Angaben Gardener's und Guillemin's, da nach dieſen auch in dem Gemiſch von rothen, orangen und gelben Strahlen eine, wenn auch geringere Krümmung hätte eintreten müſſen. Dieſe Differenz dürfte weſentlich auf der Verſchiedenheit der Beobachtungsmethode beruhen; die von Zandeschi läßt ſich mit der meinigen eher vergleichen; er fand, wie oben angegeben, daß hinter rothem, orangem und gelbem Glas die Krümmung unterbleibt.» Handbuch der experiment. Phyſiologie. S. 41. — Hofmeister, Die Lehre von der Pflanzenzelle. S. 288 ff. — A. B. Frank, Beiträge zur Pflanzenphyſiologie. Leipzig. Engelmann. S. 91 ff. — Th. Cisielski, Unterſuchungen über die Abwärtskrümmung der Wurzel. Inaug.-Diſſert. Breslau 1871. R. Niſchkowsky. — N. J. C. Müller, Wachsthumserſcheinungen der Wurzel. Bot. Ztg. 1871. S. 722.

ſonſt gleiche Phaſe mit ſtetigem Uebergang der Lichtintenſität alle möglichen Zwiſchenſtufen beſtehen müſſen. Die Zuwachſe vieler ſolcher Pflanzen von gleicher Anfangslänge für gleiche Zeit ſind eine ſtetige Function der Lichtintenſität. Daraus ergibt ſich zunächſt ſchon mit Nothwendigkeit die

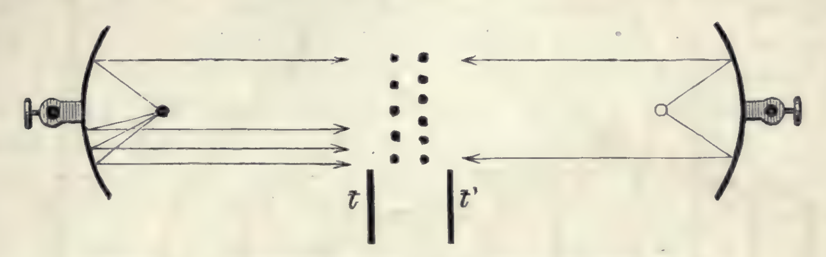


Fig. 256. t t' ſind zwei Thermometer, der eine zeigt 10°, der andere 17° C.

Krümmung nach dem Licht hin, oder von ihm hinweg, ohne jede weitere Vorausſetzung, als die, daß Licht auf dem Wege von der Licht- nach der Schattenſeite verſchwindet. Denn denken wir uns eine Pflanze einſeitig beleuchtet mit der Lichtintenſität a und dem Zuwachs α, die zweite Pflanze gleicher Phaſe und Ausſaat und Art mit der Lichtintenſität a' und dem Zuwachs α' für das gleiche Zeitintervall, ſo brauchen wir nur unter der Annahme vollſtändiger Gleichheit beider Individuen die beiden Pflanzen für dasſelbe Zeitintervall ſo verwachſen zu denken, daß die mit der Intenſität a beleuchtete die Vorder-, während die mit a' beleuchtete die Hinterſeite eines dritten Individuums wird, um einzuſehen, daß bei dieſem eine Krümmung eintreten muß, wenn $a > a'$. Die Krümmung wird ſo lange fortſchreiten, bis Vorder- und Hinterſeite gleich viel Licht erhalten, d. h. bis die Achſe des Stämmchens mit dem einfallenden Strahl zuſammenfällt.

Die Strahlen dunkler Wärme von verſchiedenem mechaniſchem Effect müſſen unſerer Theorie nach dieſelbe Wirkung auf Keimpflänzchen haben, die ſonſt zu poſitivem Heliotropismus disponirt ſind. Um dieß zu erweiſen, ſtellte ich zwiſchen zwei Kugelreflectoren von Neuſilber eine Colonne von Keimpflänzchen der Kreſſe derart auf, daß der eine Reflector, in deſſen Brennpunkt eine farbloſe Weingeiſtflamme brannte, die Colonne von der einen Front beſtrahlte. Im Brennpunkt des zweiten Reflectors ſtand ein Eisklumpen, ſo daß die Strahlen derſelben parallel vom Spiegel kommend, die andere Seite der Colonne trafen. Nach zwölfſtündiger Beſtrahlung waren die Pflänzchen nach dem Reflector der Weingeiſtlampe indeß nur wenig hingebeugt.

Fig. 257 *A* ſtellt die Zuſtände der Beugung für ein kleineres weniger erwachſenes Pflänzchen, bei welchem die Beugung entſchieden negativ war, Fig. 257 *B* dieſelben für ein größeres dar. Man ſieht leicht, daß auch

hier die pofitive und negative Beugung an einem und demfelben Individuum gleichzeitig auftreten. Ich habe nur noch zu bemerken, daß in diefem Verfuch der Gefammtanblick der Colonne doch wefentlich abweichend war von demjenigen einer unter dem Einfluß des Sonnenlichts gebeugten. In letzterem find die Keimpflänzchen gleichmäßig ftärker nach dem Lichtquell, fowie in diefer Richtung gekämmt. Bei erfterer hingegen neigen wohl alle beftrahlten Pflänzchen nach dem Wärmequell, aber ohne die genaue Uebereinftimmung in der Richtung, da die Reflectoren denn auch niemals ftreng parallele Strahlenbündel ausfenden, aber der Verfuch beweift nur um fo mehr, daß dunkle Wärmeftrahlen die Pflänzchen fo vollkommen durchftrahlen, daß der Unterfchied des mechanifchen Effectes der Licht- und Schattenfeite verfchwindend klein ift. Bei mehrfacher Wiederholung überzeugte ich mich, — wiewohl eine geringe Beugung ftets eben noch mit dem Fernrohr an einer hinter die Colonne geftellten Coordinatenplatte nachweisbar war — daß den dunklen Wärmeftrahlen die geringfte Wirkung zukommt. Wir können uns nun gleichwohl nicht vorftellen, daß diefe geringe Wirkung gegenüber den leuchtenden daher rühre, daß dunkle ftrahlende Wärme gar nicht abforbirt würde, vielmehr muß die Vorftellung Platz greifen, daß fie möglichft vollftändig, aber ohne einen mechanifchen Unterfchied für Licht- und Schattenfeite zu bewirken, abforbirt werden.

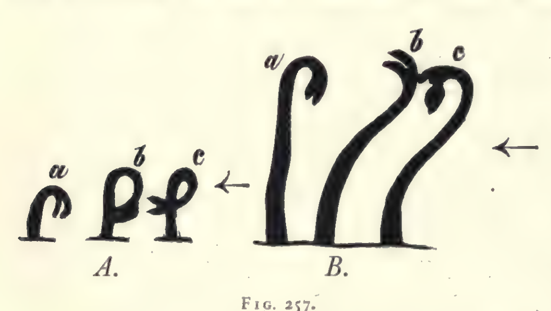


Fig. 257.

Mit abnehmender Lichtintenfität finken die den Zuwachs beeinfluffenden Functionen, das Ergrünen, die Affimilation und Erwärmung und in Folge davon die Zuwachfe, bis endlich das partielle und fchließlich das totale Etiolement eintritt, wodurch der Zuwachs wieder zunimmt. Zwei Pflänzchen gleicher Art und Phafe werden alfo, wenn das eine bei höherer Lichtintenfität negativ, und wenn das andere bei niederer Lichtintenfität pofitiv heliotropifch geworden ift, fich noch dadurch unterfcheiden, daß das eine weniger etiolirt, alfo von größerem Trockengewicht ift als das andere. Der negative Heliotropismus ift alfo eine Folge der von der Licht- nach der Schattenfeite abnehmenden Affimilation oder Disgregation der größten Maffe. Der pofitive Heliotropismus hingegen ift eine Folge des von der Licht- nach der Schattenfeite zunehmenden Etiolements oder der Disgregation der kleinften Maffe.

5. Versuche im Sonnenspectrum.

Mit Hilfe des Helioſtaten und zweier Schwefelkohlenſtoffprismen wurde ein Spectrum auf junge Keimpflanzen im dunkeln Raume geworfen und dort ſo lange conſtant erhalten, bis die Pflänzchen ſich im poſitiven Sinne krümmten und bis ein merklicher Zuwachs erreicht war.

Ich ſtellte ſechs parallelopipediſche Töpfe mit gleichaltrigen Ausſaaten der Kreſſe ſo hinter- und übereinander auf, daß alle das Spectrum auffingen. Im erſten Topf, welcher dem Spectralapparat am nächſten war, wirkten Violett und Blau; Grün, Gelb, Orange und Roth waren wirkungslos; im zweiten erſtreckte ſich der poſitive Heliotropismus noch über Grün und Gelbgrün. Im dritten und vierten wirkte Violett nicht mehr, d. h. es verhielten ſich die dort ſtehenden Pflänzchen, wie wenn ſie von beiden Seiten verdunkelt wären. Die poſitive Beugung ging aber links bis etwa *C* und *D* vor. Im fünften und ſechſten war das Maximum der poſitiven Beugung im Orange und ſank langſam nach dem rothen Ende.

Die Krümmung wird mit der Entfernung vom Lichtquell mit abnehmender Intenſität aller Strahlen im blauen Ende zuerſt, im rothen zuletzt enden, d. h. je ſchwächer das Licht wird, um ſo mehr wird Blau wie abſolute Dunkelheit, Gelb und Roth wie vorher Blau, mit zunehmender Entfernung werden natürlich alle Strahlen zuletzt wie Dunkelheit wirken. Das partielle Etiolement fängt im Blau zuerſt an und geht hier auch zuerſt mit der Entfernung vom Lichtquell in totales über. Im Roth beginnt und endet dasſelbe unter gleichen Umſtänden ſpäter, d. h. in größerer Entfernung, bei geringerer Lichtſtärke.

Die ſeitliche Krümmung beruht nach derſelben Annahme darauf, daß in einer Colonne von Pflänzchen, auf welche ein Spectrum geworfen wird, die vom Gelb oder Roth beleuchteten ihren blau und violett beleuchteten Nachbarn noch ſo viel Strahlen von größerem Wärmeeffect zuſenden, daß die gelb beleuchtete linke Seite der im blauen Theil des Spectrums ſtehenden Pflänzchen zur Lichtſeite, während ihre blau beleuchtete rechte Seite zur Schattenſeite wird, ſo daß die roth beleuchtete dann weniger etiolirt, wie die blau beleuchtete.

6. Prädisposition und Anpassung.

Die anatomiſche Beſchaffenheit aller flachen, ſpäter dem Lichte exponirten Organe iſt als eine Anpaſſung an den Lichtgenuß aufzufaſſen. Die beleuchtete Seite iſt verſchieden von der Schattenſeite. Dahin gehört in erſter Linie das Laubblatt, ſodann die Lager der Marchantieen, die ober- und unterſchlächtigen Blätter der Jungermannieen u. a. m.

Die Brutknoſpen der Marchantieen differenziren ihr Gewebe in eine

Licht- und Schattenſeite im Zeitraum von zehn Stunden nach der Ausſaat (ſ. oben Gravitation).

7. Polarisation.

Auch das Licht vermag dieſelben Pflanzentheile zu polariſiren. Die poſitiv heliotropiſche Bewegung bei dickeren Keimſtengeln der Vicia Faba verläuft ziemlich langſam. Im Allgemeinen erfordert die in Folge eines Lichtreizes eintretende Krümmung um ſo längere Zeit, je dicker der zu krümmende Stengel iſt. Lange bevor die leiſeſte Krümmung gegen den Lichtſtrahl äußerlich ſichtbar iſt, beſteht eine innere Spannung, eine, bezogen auf die Richtung des einfallenden Strahles aſymmetriſche Vertheilung der Abſtoßungskräfte. Man kann dieſen Zuſtand herbeiführen, indem man das diffuſe Tageslicht, welches die in einem Kaſten ſtehenden Töpfe *a*, *b*, *c*, *d*, Fig. 258, trifft, durch mehrere Schirme *S S*, aus dünnem Papier ſchützt.

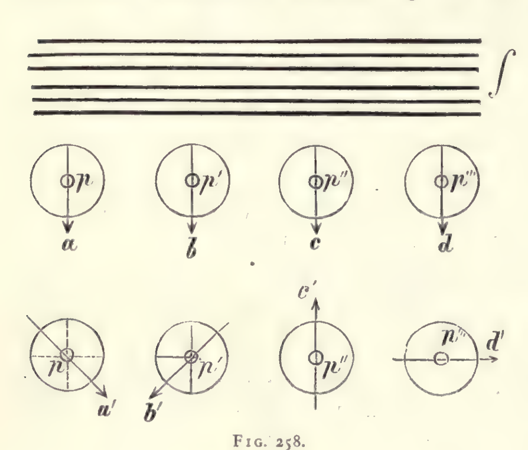


Fig. 258.

Durch Mehrung oder Minderung dieſer Schirme iſt man im Stande, den Lichtgrad zu finden, welcher der betreffenden Pflanze zukommt.

Es mögen *p p'*, Fig. 258, die Projectionen der Keimpflänzchen ſein, welche zwar unter dem geringen Lichtreiz geradlinig gewachſen, in die Ebene des Pfeiles aber polariſirt ſind. Nimmt man nun plötzlich einen Theil der Schirme weg, ſo bewirkt dieſe Steigerung der Intenſität, daß die geraden Pflänzchen in wenigen Minuten im poſitiv heliotropiſchen Sinne eine Beugung ausführen, welche unter anderen Bedingungen mehrere Stunden, ja Tage in Anſpruch nimmt.

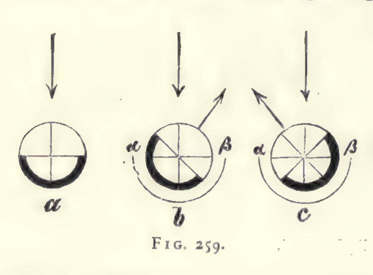


Fig. 259.

Dreht man die Polariſationsebene, deren Lage man durch zwei Kreideſtriche an dem Topf markirt hat, zu dem einfallenden Strahl, ehe man die Zahl der Schirme vermindert, ſo wird dadurch die Polariſationsebene zur Einfallsebene des reizenden Strahles verſchoben, die Pflanzen krümmen ſich nicht mehr in einer Ebene, ſie beſchreiben eine Schraube.

Vor der Drehung der Polariſationsebene waren in den Projectionen auf dem Querſchnitt von p die Repulſivkräfte, welche die Wachsthumsrichtung beeinfluſſen, zu dem einfallenden Strahle bei allen ſo vertheilt, wie es Fig. 259 a veranſchaulicht; es bedeuten die Schattenſeiten in dieſem Falle die Orte, wo ſich die Abſtoßungskräfte angehäuft haben. Nach der Drehung zu dem einfallenden Strahle iſt die Lage der früheren zu den jetzigen Schattenſeiten durch die Lage der ſchwarzen Halbkreiſe zu α β dargeſtellt, der Lichtwechſel bewirkt das rapide Auslöſen der in den erſten Schattenſeiten angehäuften Spannung, gleichzeitig aber auch einen neuen Anſtoß in Richtung des einfallenden Strahles. Beide Kräfte ſetzen ſich zuſammen und führen den wachſenden Stamm in eine rechts- oder linksumläufige Schraube.

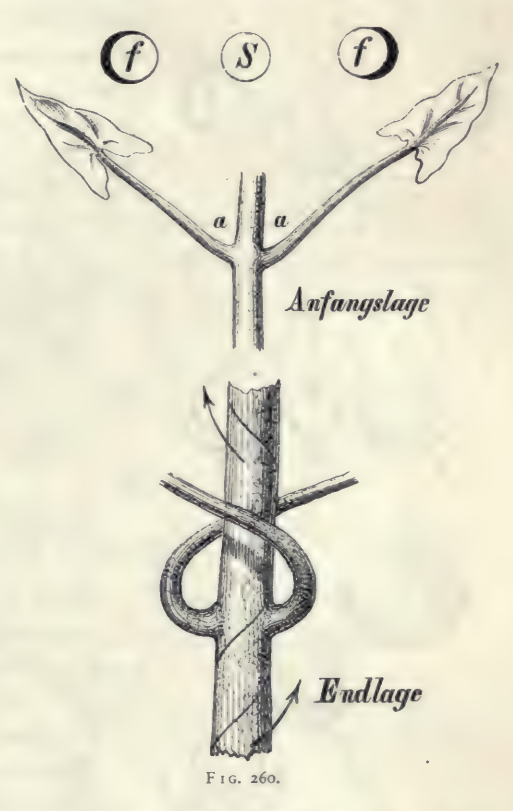


Fig. 260.

Nur den Stämmen, mit Ausnahme der flachen, darf man die Eigenſchaft einer anfänglich gleichen Vertheilung der Repulſivkräfte zuſprechen.

Morphologiſch-ſymmetriſche, nach zwei Richtungen ungleiche Gebilde wie die Blätter, welche ſchon äußerlich eine Ober- und eine Unterſeite zeigen, beſitzen eine ſchon in der Evolution verderbliche ungleiche Vertheilung.

Vor allen deutlich tritt dieſes bei den Trauerbäumen auf, deren an den hängenden Zweigen befindliche Blätter ſämmtlich Drehungen von 180° ausführen, um die morphologiſche Oberſeite des Blattes nach der Evolution zur wirklichen Lichtſeite zu machen.

Bei der Hängeeſche mit gefiederten Blättern drehen ſich hiebei die einzelnen Fieder oft unabhängig vom Hauptblattſtiele in dem einen oder andern Sinne, bis ſie die gewünſchte Lichtlage erreichen.

Zu den ſchönſten hier einſchlägigen Phänomenen aber gehörten die Drehungen von Phaſeolus, welche in der oben geſchilderten Weiſe in ſchwächſter einſeitiger Beleuchtung gezüchtet wurden.

Die beiden erften Laubblätter *f f'*, Fig. 260, mit dem Stammquerfchnitte auf eine fenkrecht zum Stamme ftehende Ebene projicirt, befitzen der Anlage nach ihre Spannkräfte fo vertheilt, wie es der Contour Fig. 261 zeigt. Es äußert fich dieß, wie bekannt, fonft darin, daß die Winkel *a a'*, Fig. 260, verkleinert und vergrößert werden. Die Anfangslage, Fig. 260, kann nun durch die Reizung in die Endlage übergeführt werden, dadurch, daß man in dem oben befchriebenen Sinne polarifirt. Hiebei möge die Pfeilrichtung die Polarifationsebene fein. Fig. 261 ftellt dann in den Contouren die Vertheilung der Spannung dar vor der Polarifation. Der Stamm ift nach allen Richtungen gleich. In Fig. 262 *A* möge die Vertheilung der Kräfte nach der Polarifation zu dem Strahle α dargeftellt fein. Nunmehr wird das Syftem gedreht und in der früheren Richtung α durch Hinwegnehmen eines Theiles der Schirme gereizt. Die Vertheilung ift nun fo, wie Fig. 262 *B* zeigt, wobei zu beachten ift, daß die Dauer der bewegenden Kräfte, deren Vertheilung durch die Ringe dargeftellt fein möge, von innen nach außen abnimmt; das Hinwegnehmen der Schirme bewirkt aber nur einen Anftoß. Die Prädispofition (Fig. 261), die Polarifation (Fig. 260 *A*) und Reizung (Fig. 262 *B*) bilden fomit drei Componenten der Drehung, welche das Syftem in die Endlage, Fig. 260, führen.

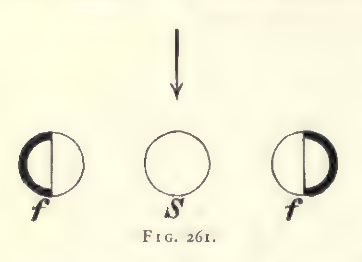


Fig. 261.

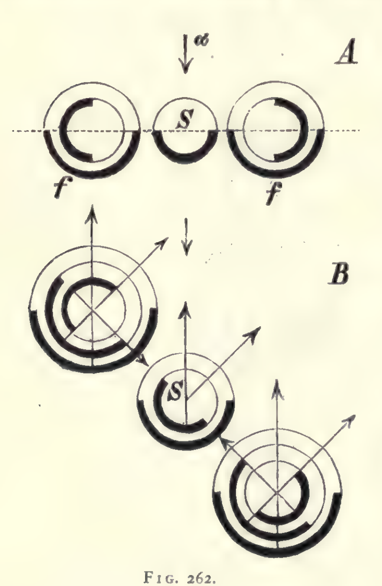


Fig. 262.

8. Bewegung der Schwärmsporen gegen das Licht [1]).

Die Schwärmfporen der Algen bewegen fich in geraden, zickzack- oder fchraubenlinigen Bahnen im Waffer und orientiren ihre Bahn in beftimmtem Sinne zum Lichte. Bei einfeitiger Beftrahlung mit diffufem Tageslicht gruppiren fie fich in Tupfen oder Streifen (Fig. 263).

Nach einer Mittheilung Nägeli's [1]) gruppiren fich die Schwärmer einer Volvocinee, welche ihm von A. Braun zugefandt wurden, auf einem Teller,

---

[1]) Nageli, Beiträge zur wiffenfchaftlichen Botanik. Bd. I. S. 106. Leipzig. Engelmann. — J. Sachs, Emulfionsfiguren. Flora. 1876. No. 16 ff.

welcher einſeitig in der Richtung c vom Fenſter beleuchtet war, in eine dichter bevölkerte Randzone und zahlreiche Schwärminſeln, welche nach der Lichtſeite hin kleiner wie nach der Schattenſeite ſind. Die Abſtände ſind an der Lichtſeite kleiner wie im Centrum des Tellers. Nachdem die Anordnung durch Umrühren geſtört war, ſtellte ſie ſich doch nach wenigen Minuten der Ruhe wieder her.

Nachdem der Teller die Nacht über bei 5° C. geſtanden, ſammelten ſich nun die Schwärmer in dendritiſchen Bahnen, mit mehrfacher Veräſtelung. Die Hauptaxe war nach dem Lichte orientirt und ſtrahlte von der dichteren Randſchicht aus.

Bei dieſer Anordnung iſt bemerkenswerth, daß die oberen jüngeren Aeſte unter ſpitzem, die unteren unter nahezu rechtem Winkel von der Hauptaxe divergiren. Die Anordnung der Zweige war indeß ſteten Veränderungen während des Tages unterworfen.

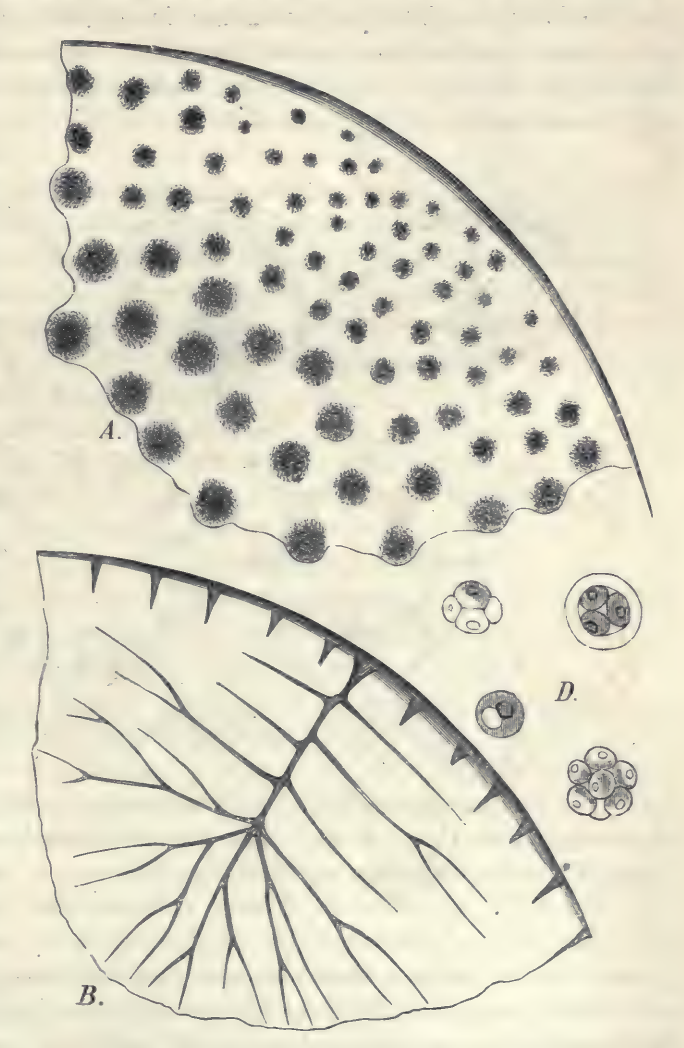


FIG. 263. Tachygonium (?) ſpec. *A. B.* Anordnung der Schwärmzellen in Tupfen und baumartig verzweigten Streifen in einem mit Waſſer gefüllten Teller. *D.* zur Ruhe gelangte Zellen, die ſich durch Theilung vermehren und eine Gruppe von 4 Zellen ohne, eine andere mit Gallerthülle. (NÄGELI, Beiträge zur wiſſenſchaftlichen Botanik, 2. Heft.)

J. SACHS hat in neuerer Zeit dieſe Figuren zum Gegenſtand einer ein-

gehenden Unterſuchung gemacht. Er zeigt, daß dieſe auffällige Vertheilung nachgeahmt werden kann, wenn man eine Emulſion von gefärbtem Oel in Alkohol in flache Tellergefäße gießt. Er theilt die entſtehenden Figuren ein in concentriſche und polariſirte; in erſteren kann der Teller nach allen Richtungen in zwei ſymmetriſche Hälften zerlegt werden, bei den letzteren gibt es nur eine ſolche Ebene, welche mit der Richtung der Stellung zuſammenfällt (ſ. Fig. 264 *A B C*).

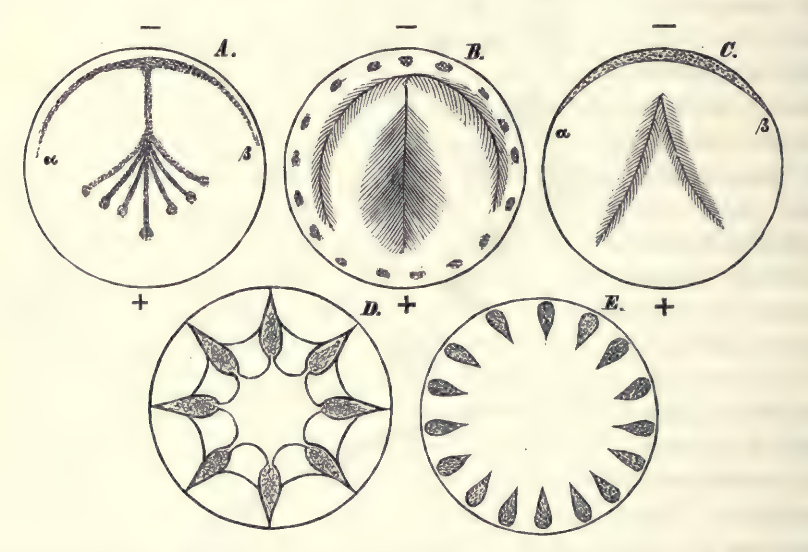


FIG. 264. Nach SACHS, in Flora 1876, Nr. 16. Emulſionsfiguren. *A B C* Symmetriſche (polariſirte) Vertheilung. *D E* Concentriſche Vertheilung.

Die concentriſchen Figuren entſtehen, wenn die Zuſtrahlung nach allen Richtungen vom Centrum aus gleich iſt. Einſeitige Erwärmung, eine geringe Temperaturdifferenz zwiſchen den mit —, + bezeichneten Seiten, Fig. 264 *A B C*, bewirken die Bildung ſymmetriſcher Figuren.

Die mit — bezeichnete Seite iſt die kältere, die mit + die wärmere Seite. An der erſteren bildet ſich eine Randlinie von gefärbtem Oel α β, an letzterer nicht. Die Figuren werden erhalten, indem man den einen Tellerrand erwärmt, den andern erkältet mit Hilfe verſchieden warmer waſſergefüllter Blechgefäße, Eiſenſtücke u. ſ. f. Auch die Strahlung von Fenſtern, Oefen bewirkt dieſelbe Anordnung, ſo daß es ſchwer hält und nur in großen Räumen möglich wird, die concentriſchen Figuren zu erhalten.

Bei der Entſtehung der concentriſchen Figuren, Fig. *D* und *E*, ſind drei Urſachen entſprechender Strömungen denkbar: erſtens werden durch das Eingießen der Flüſſigkeit in den Teller unregelmäßige Strömungen ein-

geleitet, welche an den Rändern anprallend, endlich in stehende Wellen übergehen, welche vom Centrum zum Umfang sich hin und her bewegen. An der Oberfläche bewirkt die Verdunstung der Flüssigkeit Abkühlung der obersten Schichte, welche sinkt, während wärmere Schichten von unten aufsteigen; so entstehen zahlreiche verticale Rotationen, welche in der Bildung von Tupfen und Netzen zum Ausdruck kommen. In der Mitte des Tellers wird ein aufsteigender, an dem Umfang ein absteigender Strom herrschen oder umgekehrt.

Hat die Flüssigkeit nicht ganz genau die Temperatur der Umgebung, so wird vom Tellerumfang oder vom Boden aus eine Erwärmung oder Abkühlung beginnen, so daß auch dadurch Ströme entstehen, welche ebenfalls in radialer Richtung oder concentrisch mit dem Umfange wirken können.

«Aehnlich, wie bei der Entstehung der Klangfiguren, theilt sich die Flüssigkeitsschicht in mehrere Partieen, in deren jeder eine verticale auf- und absteigende Bewegung stattfindet; an den Grenzen je zweier Partieen treffen oben und unten entgegengesetzte Bewegungen auf einander, um dann gleichlaufend neben einander auf- oder abzusteigen; an solchen Stellen werden die Oeltropfen sich sammeln und je nachdem dieselben leichter oder schwerer als die Flüssigkeit sind, werden sie endlich auf der Oberfläche oder am Grund zur Ruhe kommen. Es ist leicht ersichtlich, daß bei diesen Vorgängen sehr unbedeutende und unmerkliche Einflüsse bestimmend auf die Form der Figur einwirken können.» (Sachs, Flora a. a. O.)

Die polarisirten Figuren entstehen nur, wenn an zwei entgegengesetzten Punkten des Tellerrandes Maxima der Abkühlung oder Erwärmung liegen. Die mit — bezeichneten Punkte in Fig. 264 *A B C* sind diese Stellen stärkster Abkühlung, oder doch schwächster Erwärmung, die mit + bezeichnen die Orte stärkster Erwärmung. Von + nach — hin nimmt die Differenz stetig ab; in der rechten und linken Hälfte sind diese Orte symmetrisch vertheilt.

Unmittelbar nachdem die Flüssigkeit in den Teller gegossen ist, machen sich, wie vorher, die Tupfen und Netze der concentrischen Figuren geltend; ist aber die Temperaturdifferenz der beiden Wärme-Pole des Tellers hinreichend groß, so entsteht eine Hauptströmung, welche endlich die andern überwiegt. So verschwinden die Tupfen und Netze und es entsteht eine Randlinie und die polarisirte Figur. An allen rechts und links liegenden Punkten zwischen + und — werden ebenfalls Strömungen entstehen, welche von der Richtung + — divergiren und von rechts und links herkommend in der Hauptrichtung auf einander treffen.

Herrscht bei +, Fig. 264, höhere, bei — niedere Temperatur, so wird die bei + erwärmte Flüssigkeit am Rande emporsteigen, in Richtung

nach — hinüberfließen, dort abwärts ſinken und am Boden des Tellers wieder zurück nach + gehen. «Dieſe rotirende Strömung iſt deutlich zu ſehen, wenn der Teller bei *A* auf einem ſehr warmen Körper (von etwa 60° C.) ſteht; in dieſem Fall iſt die Strömung ſehr raſch und man ſieht die Oeltropfen ſehr deutlich an der Oberfläche von + nach —, am Grunde von — nach + hinſchwimmen, bei + aufſteigen, bei — abſteigen. Wie von + aus wird aber auch von jenem Punkte des Umfangs aus links und rechts eine ähnliche Strömung nach dem Punkt — hin ſtattfinden; die fächerartige, nach *B* hin zugeſpitzte Figur iſt der Ausdruck dieſer von rechts und links herkommenden Seitenſtröme, welche hier ſchief auf einander treffen und, indem ſie an Stoßkraft verlieren, hier die leichteren Oeltropfen zur Ruhe kommen laſſen; iſt aber das Oel ſchwerer als die Flüſſigkeit, ſo ſinkt es an dieſen Stellen hinab, wird am Grunde der Flüſſigkeit mit den zurückkehrenden Strömen zurückgeführt, um dort liegen zu bleiben, wo dieſe wieder am Rande emporſteigen. Es leuchtet ein, daß eine der vorigen ähnliche Figur am Grunde entſtehen muß, deren Spitze aber dem wärmeren Pole des Tellers zugekehrt iſt.»

Die Randlinie bildet ſich an dem kälteren Tellerrand und bleibt ſelbſt nachdem die Figur verſchwunden iſt als Anhäufung aller Tropfen, nachdem alle Bewegung erloſchen iſt. Sie liegt am Grunde und zwar am wärmeren Rand, meiſt jedoch nicht als ſchmale Linie, ſondern als breite Wolke, wenn das Oel ſchwerer iſt. «Die rotirende Bewegung der Flüſſigkeit bringt dagegen alle Oeltropfen, wenn ſie leichter ſind, an den kälteren Rand; weil hier die Flüſſigkeit abwärts biegt, die Tropfen aber eine Tendenz nach oben haben, bleiben ſie endlich alle hier an der Oberfläche liegen. Haben die Tropfen dagegen eine ſchwache Tendenz nach unten, d. h. iſt ihr ſpecifiſches Gewicht größer als das der Flüſſigkeit, ſo werden ſie ſchließlich alle da liegen bleiben, wo die letztere immer wieder emporſteigt, d. h. am Grund der wärmſten Stelle des Tellers».

9. Wirkung einseitiger Bestrahlung[1]).

Nur im Experiment können an höheren Pflanzen auffällige Formänderungen durch einſeitige Beleuchtung hervorgerufen werden, wie die durch Fig. 265 veranſchaulichte. Eine Sonnenroſe wurde im Dunkelraume ſo aufgeſtellt, daß ſie nur durch einen 4 cm breiten Spalt diffuſes Tageslicht erhielt, während der Zeit, in welcher ſie ihre Blüthen entwickelte. Der dem Lichte zugekehrte Rand iſt mächtig gefördert, gegenüber dem verſchatteten.

---

[1]) Ueber die einſeitige Beſchleunigung des Aufblühens einiger kätzchenartigen Infloreſcenzen durch die Einwirkung des Lichtes. Von Dr. A. B. Frank. — Cohn, Beitr. Heft 3. S. 51. Breslau 1875. J. U. Kern's Verlag.

Auch an den männlichen Kätzchen von Salix Caprea findet man eine einſeitige Förderung an der beſtrahlten Außenſeite, und in auffälliger Weiſe an der Außenſeite der Zapfen bei der Pinus montana, uncinata.



Fig. 265. Eine Sonnenroſe mit gradweiſe geſchwächten Randblüthen. Die erſte Figur in der Einfallsebene des Lichtes der obere Pfeil, die zweite von der Scheibenfläche.

10. Wirkung des Lichtes auf die Zelltheilung.

Famintzin[1]) kommt in einer Reihe von Unterſuchungen an niederen Pflanzen, Algen zu dieſen Reſultaten:

a) Die Zelltheilung geht im Lichte, ſowie im Dunkeln vor ſich, ſie wird nicht durch das Licht aufgehalten.

b) Die Bildung der Stärke, welche als Aſſimilationsprodukt in den beleuchteten Zellen auftritt, wird ſofort ſiſtirt, ſowie die Beleuchtung aufhört.

c) Erliſcht die Zellbildung bei anhaltender Verdunkelung in Folge davon, daß der Verbrauch der Aſſimilationsprodukte, insbeſondere der Stärke nicht durch Neubildung gedeckt wurde, ſo tritt bei erneuter Beleuchtung die Stärkebildung faſt inſtantan, die Zellbildung aber erſt nach einiger Zeit ein.

d) Die Zellbildung wird nur von den minderbrechbaren Strahlen beeinflußt.

Die Angaben Famintzin's haben ein gewiſſes Intereſſe, weil hier genauere Zählungen vorliegen.

1° Aus 100 Spirogyrenzellen in einem Faden enſtanden im vollen Lampenlicht, im Zeitraum von 7 Tagen, 7730 Zellen. Wurden dieſelben 100 Zellen 12 Stunden beleuchtet, 12 Stunden verdunkelt, ſo entſtanden nur 4762 Zellen.

Ebenſo 8 Stunden beleuchtet, 16 Stunden verdunkelt 2810.

2° Im ſchwachen Lampenlicht wurden von 100 Zellen, im Faden bei 8ſtündiger Beleuchtung und 16ſtündiger Verdunkelung, in 7 Tagen 327 Zellen gebildet.

---

[1]) Die Wirkung des Lichtes auf die Zelltheilung der Spirogyra. *Mélanges phys. et chim. Bulletin de l'acad. imp. des sciences de St.-Pétersbourg. T. VII.* Sep.-Abdr. 1868.

3^0 Im diffuſen Tageslicht wurden in 7 Tagen bei klarem Wetter, 8 Stunden beleuchtet, 16 Stunden verdunkelt, 1194 Zellen gebildet.

4^0 Im Dunkeln wurden Stärke-erfüllte Spirogyrafäden beobachtet, ſie ergaben in 14 Tagen 177 Zellen, in ähnlichen Verſuchen 216, 164, 137, 114.

Es ſtellte ſich im Verlauf der Verſuche heraus, daß die Zellvermehrung und die Stärkebildung einer Periode unterliegen. Die erſtere beginnt ſchon nach 30 Minuten nach der Beleuchtung, die letztere erſt nach wenigen Stunden. Es folgt hieraus, daß nach der Erſchöpfung des Stärkevorrathes der Zellen während der Nacht durch Athmung und Theilung, die Stärkebildung am Tage zuerſt beginnt, einen gewiſſen Vorſprung erreicht, ehe die Zelltheilung nachfolgt. Die Verſuche in gelbem und blauem Lichte verdienen vielleicht eine Reviſion. F. wandte Löſungen von ſaurem, chromſaurem Kali und von Kupferoxyd in Ammoniak an.

---

§ 27. Formverhältnisse, welche complexen Einwirkungen aus der Bestrahlung und gegenseitigen Lage der Organe entspringen.

Ein Hauptzug in dem Auszweigungsſyſtem der Pflanzen, welche eine Hauptaxe in die Lothrichtung orientiren, ſo namentlich der Bäume, beſteht in der Veränderlichkeit des Winkels zwiſchen dem Haupttrieb und dem Seitentrieb. Da die letzteren mit dem Haupttrieb um Licht und Raum concurriren, durch den größeren Vorſprung der erſteren aber in der Zeit benachtheiligt ſind, ſo findet man allgemein, daß der Winkel zwiſchen beiden Richtungen von der Spitze nach der Baſis wächſt, Fig. 266.

Zur Gravitation und zum Lichte verhalten ſich daher ſolche Zweige auch an den wachſenden Spitzen weſentlich abweichend, wie ſonſtige ſaftreiche einjährige Pflanzen: ſie krümmen ſich draußen weder im Sinne der geotropiſchen, noch heliotropiſchen Pflanzen.

Der Vortheil, welchen die unteren Aeſte in φ''', Fig. 266, erreichen, wenn ſie ſich dem Horizont nähern, iſt leicht erſichtlich, ſie erreichen raſcher die äußere Schale der Krone, und damit einen größeren Lichtgenuß.

1. Heliotropische und geotropische Pflanzentheile.

Die Richtung der kriechenden Pflanzen wird durch die Angewöhnung an das Licht und die Gravitation beeinflußt. Solche Pflanzen können, negativ-heliotropiſch, ſich der Unterlage anpreſſen, während gleichwohl der

negative Geotropismus ihnen ſonſt als Charakterzug zukommt, z. B. Polygonum aviculare.



Fig. 266.

Fraxinus excelſior 5—6 Meter hoch. Silhouette. Das Syſtem zeigt, daß der Winkel der Aeſte von der Spitze nach der Baſis veränderlich iſt φ φ' u. ſ. f. Die äußeren Zweige der 3. Ordnung ſind die herrſchenden mit Ausnahme der endſtändigen.

Populus laurifolia, Silhouette. Man beachte die Winkel der Aeſte der 1. Ordnung. Das Syſtem veranſchaulicht: In dem Aſte φ''' iſt der Haupttrieb in *o* eingegangen, der Aſt der 3. Ordnung erſetzt die Hauptrichtung. Die Aeſte der 3. Ordnung a' a'', welche nach außen und unten gehen, überwiegen die nach oben gerichteten.

Nicht heliotropiſch, aber poſitiv-geotropiſch ſind die Ausläufer der Fragarien. Negativ-geotropiſch ſind die Convallarien, C. multiflora und latifolia. Geotropiſch ſind die Coniferenzweige, welche draußen horizontal ſtanden, beugen ſich im Experiment ſenkrecht, die Spitze nach unten aufgeſtellt, ſo lange bis das Zuwachsſtück horizontal ſteht.

Wie ſchon oben gezeigt, S. 251, erweiſen ſich die Laubblätter, welche ihre Spreite horizontal ſtellen, allein von dem Einfluß der Gravitation abhängig. Die jungen Marchantieentriebe ſind negativ-geotropiſch. In älteren aber überwiegt der (Transverſal-)Heliotropismus, ſie ſtellen ſich daher normal zum einfallenden Lichtſtrahl.

Frank will für die hier zu betrachtenden Phänomene zwei ver-

ſchiedene Bewegungen unterſchieden wiſſen: den Longitudinal-Heliotropismus und -Geotropismus für alle cylindriſchen Gebilde, Stengel, Wurzeln, Blattſtiele u. ſ. f. und den Transverſal-Heliotropismus und -Geotropismus für die Blattſpreiten und flachen Lager[1]).

2. Lage der Hauptaxe zum Loth.

Ein geradwüchſiger Stamm unſerer Waldbäume kann durch die Bedingungen ſeines Wohnortes oder durch Zufall in dieſe vier Lagen gerathen.

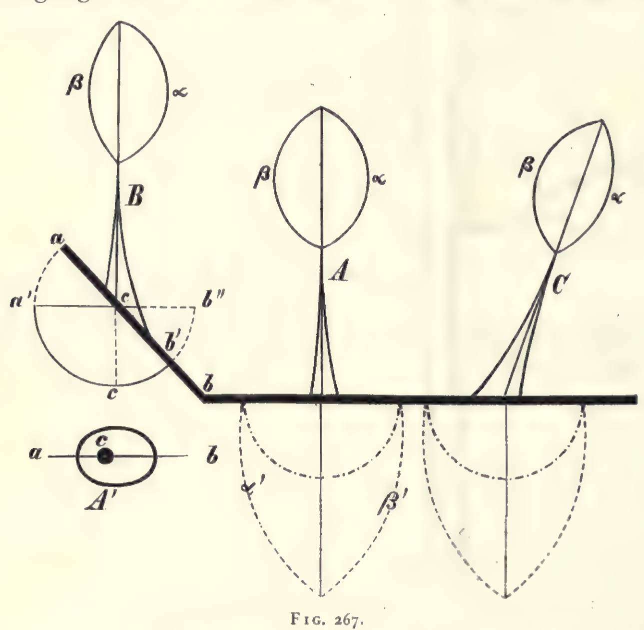


Fig. 267.

Er ſteht im Loth an der Böſchung *a, b, B*, er ſteht vertical in der Ebene gleichmäßig nach allen Richtungen verſchattet oder gleichmäßig ebenſo beleuchtet, *A*. Er ſteht in der Ebene geneigt, *C*. Endlich kann er ein Randbaum ſein in einer dieſer Lagen.

Es kommt durch dieſe Lagen eine complexe Bewegung in der Entfaltung und dem Dickenwachsthum zu Stande, welche ſich zuletzt ſelbſt in der anatomiſchen Structur der Zweige und Aeſte verräth.

Bei hängenden Aeſten, ſo bei den Aeſten der ſogenannten Trauerbäume Eiche, Eſche, Buche u. ſ. f., Fig. 268, geräth der Zweig der Außenſeite in den Schatten der Zweige der Innenſeite. Die Folge davon iſt, daß er zurückbleibt, raſcher eingeht wie der letztere. In dieſer Hinſicht verhält ſich alſo der Trauerbaum gerade umgekehrt wie der Baum, welcher ſeine Aeſte aufrecht trägt (vergl. die beiden Fig. 268).

Ein jeder Aſt befindet ſich alſo gegenüber dem Schaft, Fig. 268 *A*, in der Lage *B C*, Fig. 267, inſofern ſich eine Licht- und eine Schattenſeite ausbildet.

---

[1]) Frank, Natürliche wagrechte Richtung von Pflanzentheilen. Leipzig. H. Weißbach. 1870.

Aſtquerſchnitte zeigen nun Fig. 269, bezogen auf die Markröhre *M*, als ideale Axe die Holzmaſſe verſchieden vertheilt; *A*, die größere Maſſe liegt unten (Hyponaſtie). *B*, die größere Maſſe liegt oben (Epinaſtie).

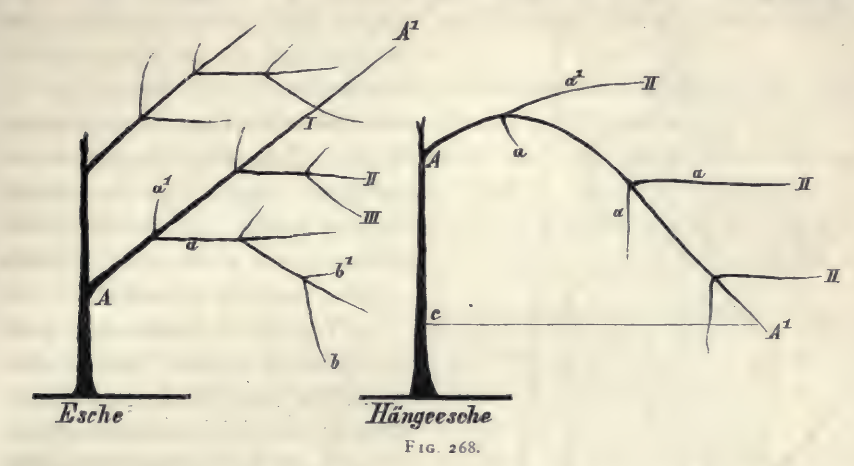


Fig. 268.

C, ſie liegt links. *D*, ſie liegt rechts. Dieſe Vertheilung iſt Folge davon, daß eine größere Anzahl von Zweigen höherer Ordnung in dem gegebenen Aſt an der Seite eingefügt iſt, an welchen die größere Maſſe angehäuft iſt.

1⁰ An einem Baume, z. B. bei der Fichte, herrſcht immer die Hyponaſtie an der Aſtwurzel, Fig. 270. Dieſe Anordnung kann als Folge des Umſtandes angeſehen werden, daß alle Faſern, welche aus dem Schaft *A* in den Aſt eintreten, von unten kommen. Die Faſern, welche oberhalb der Markröhre in den Aſt eintreten, umwandern den ganzen Aſtquerſchnitt. Der Faſernverlauf vom Stamm nach dem Aſt iſt kürzer für die untere Seite, wie für die obere (ſ. § 32 E weiter unten).

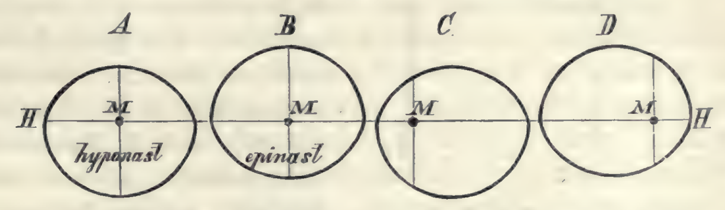


Fig. 269. Querſchnitte von Buchenäſten in ihrer Lage zum Horizont *H*. *M* das Mark.

2⁰ An einem und demſelben Baum kommen alle, in Fig. 269 dargeſtellten Verhältniſſe der Holzvertheilung vor. Wir betrachten, um dieß zu erklären, zunächſt den Baum unter den Bedingungen, unter welchen er ſich nach allen Richtungen gleichmäßig entfalten kann. Er ſtehe nach allen Himmelsrichtungen frei und in der Ebene, vergl. Fig. 267. Die Krone ſowie das Wurzelſyſtem ſind alsdann nach allen Richtungen gleich ſtark entwickelt. Steht

er aber an einer Böſchung, ſo bewirkt dieſe eine einſeitige Förderung der Krone. Dasſelbe, wenn ſchon in anderer Weiſe, tritt ein, wenn durch Zufall der Schaft in eine geneigte Lage geräth. Die Discuſſion dieſer drei Lagen des Schaftes: die lothrechte in der Ebene, die lothrechte an der Böſchung und die geneigte in der Ebene führt uns, wie zu zeigen iſt, zur Erklärung derjenigen ungleichen Vertheilung des Holzes an den Aeſten, welche ſeit C. W. Schimper mit «Epinaſtie und Hyponaſtie» bezeichnet wurde.

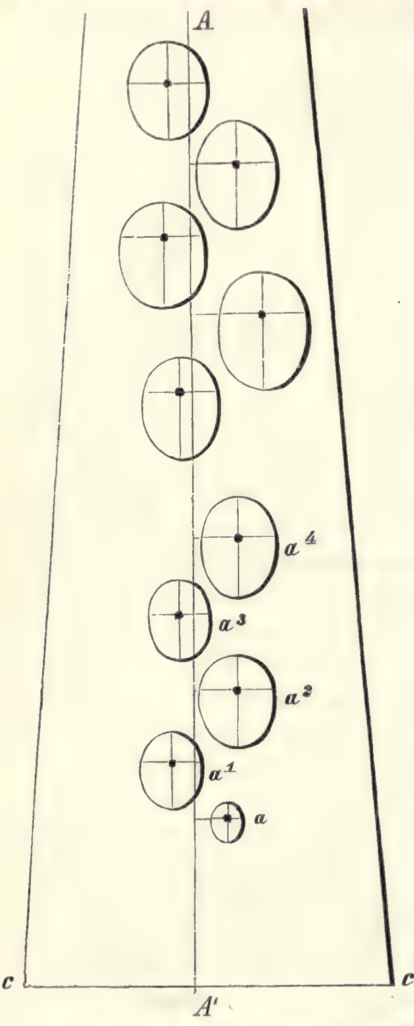


Fig. 270. 100jährige Fichte in ſchematiſcher Darſtellung der Vertheilung des Holzes in Stamm und Aeſten. *A A'* Axe des Stammes. a^1 a^2 a^3 . . . die aufeinanderfolgenden Aeſte faſt ſämmtlich hyponaſtiſch. Die Längendimenſionen $^1/_{100}$ nat. Gr. *c c* Stammumfang als aufgewickelter Kegel $^1/_{20}$ nat. Gr. Aſtdurchmeſſer $^1/_2$ nat. Gr.

Wenn in der lothrechten Lage des Schaftes in der Ebene die Entwickelung der Zweige nach allen Richtungen gleich, nicht etwa einſeitig durch die Nachbarn gehindert iſt, wenn der Boden in dem Wirkungsareal der Wurzel nach allen Richtungen homogen iſt, ſo kann das Areal des Wurzelſyſtems im günſtigſten Fall als eine Halbkugel, deren Aequatorialebene mit der Ebene der Bodenoberfläche zuſammenfällt, oder allgemein als ein Rotationskörper angeſehen werden, deſſen Kreisfläche mit der Bodenfläche zuſammenfällt. Der Stammquerſchnitt iſt in dieſem Falle kreisrund und iſoradiär. Bei der lothrechten Lage an der Böſchung *a b*, Fig. 267, wird die Krone nach der Abhangsſeite α gefördert, nach der Böſchung zu beeinträchtigt. Der Stamm vertheilt ſeine Holzmaſſe ſo, daß in der Richtung *b* eine größere Maſſe angelegt wird, wie in der Richtung *a*; wir rechnen hier von der Markröhre ab, Fig. 267 *A'*. Der Fall *B* fordert aber zu einer noch eingehenderen Discuſſion heraus. Nennen wir den Stamm *B*, wiewohl er ſenkrecht ſteht, hyponaſtiſch, weil ſein Querſchnitt, Fig. 267 *A'*, den größten Durchmeſſer in der Richtung des ſteilſten Anſtieges

der Böſchung *a b* orientirt zeigt, ſo lautet die Erklärung dafür: Wenn die Produktion in der Krone wegen einſeitiger Beſtrahlung und ſomit einſeitiger Förderung der Blattmaſſe auf der betreffenden Seite ſtärker wird, ſo tritt auf derſelben Seite des Schaftes eine ſtärkere Ablagerung des Holzes ein.

Es kommt hiebei offenbar die Leitungsgeſchwindigkeit nach den drei Richtungen im Stamm in Betracht. Dieſe iſt am größten in der Längsrichtung, eine mittlere in der radialen und eine kleinſte in der tangentialen Richtung. Somit beruht die Bildung excentriſcher Stämme in Folge einſeitiger Ausbildung der Krone auf zwei Urſachen: auf der einſeitigen Beſtrahlung und der größten Leitungsgeſchwindigkeit in der Längsrichtung.

Beachten wir nun, daß für den Verbrauch von plaſtiſchem Material während der Zuwachsperiode an einem beliebigen Punkte in der Fläche des Schaftes die beiden Zweigſyſteme α β und α' β', Fig. 267, das der Blattregion und das der Wurzel, als zwei in Bezug auf die Ablagerung unter ſich gleichwerthige Reſervoire angeſehen werden müſſen, von welchen das Material nach dem Orte des Verbrauches hinſtrömt, ſo ſehen wir für die verſchiedenen Richtungen des Stammquerſchnittes gleichmäßigen Zufluß in der Längsrichtung für den Fall *A*, weil α β und α' β' iſoradiär ſind. In der Böſchung *a b* aber wird, da die poſitiv-geotropiſchen Wurzeln höchſtens in horizontaler Richtung wachſen, der Rotationskörper α' β' um den Abſchnitt *a a' c* verkleinert und auf *a' c b'* reducirt. Von der Axe *C B* abgerechnet, kommt ſomit die Seite, welche in der Krone β α gefördert iſt, im Wurzelſyſtem um den Abſchnitt *b'' c b'* zu kurz, hierauf wird es beruhen, daß die Excentricität des Stammes in der Wirklichkeit nicht ſo auffällig iſt, wie man aus der einſeitigen Förderung der Krone erwarten ſollte.

Der Fall *C* endlich bildet den Uebergang zu der Lage, in welcher ſich die Aeſte befinden. Da im Allgemeinen die intenſivſte Beleuchtung in zur Erdoberfläche normaler Richtung ſtattfindet, ſo beſitzt der Baum *C* eine Licht- β und eine Schattenſeite α und er bildet nach β ſtärker belaubte Aeſte, welche demgemäß auch den Schaft nach der β-Seite mehr verdicken helfen.

Als Urſachen gleichzeitig vorkommender Epi- und Hyponaſtie können wir dieſe heranziehen:

a) die Veränderlichkeit des Winkels zwiſchen dem dominirenden Aſte und dem Schafte. Dieß läßt ſich an jedem Baume in dem Sinne conſtatiren, wie wir es in der Silhouette, Fig. 266, wahrnehmen, d. h. der dominirende Aſt geht mit der Zeit von φ nach φ' u. ſ. f. über. Dieß entſpricht aber dem Uebergang von *A* nach *C*, Fig. 267, und kann kurz ausgeſprochen werden: Mit der Zeit geht jeder Aſt der erſten Ordnung aus einer Lage, in welcher er von allen Seiten gleiche

Beftrahlung erhält, in eine Lage über, wo er eine Licht- (Ober-) und eine Schatten-(Unter-)Seite befitzt;

b) das Vorherrfchen der oberen oder unteren Aefte der nächft höheren Ordnung ift das Verhältniß, welches demgemäß zunächft herangezogen werden muß. Muftern wir die Silhouette, Fig. 268, der Aft reinigt fich innen rafcher wie außen, bei der Hängeefche ift es umgekehrt. Bei der erfteren wird *A A'* hyponaftifch, bei der Hängeefche wird *A A'* epinaftifch.

Wir haben fomit hier gezeigt, daß die ungleiche Vertheilung auf eine und diefelbe Urfache zurückgeführt werden kann.

Nennen wir, da wie oben erwiefen, von den feitlichen Aeften abzufehen ift, diejenigen Aefte, deren Infertionsebene (die Ebene zwifchen dem tragenden Afte und dem Zweig der nächft-höheren Ordnung) mit dem Lothe zufammenfällt, «Aefte im Hauptfchnitt», fo können wir fagen:

1⁰ in dem Kampf der Baumkrone um das Lichtareal ift der Unterfchied in der Wahrfcheinlichkeit des Sieges (man beachte die fchematifche Figur des Hauptfchnitts für die natürliche Reinigung der Buche) am größten für die Aefte im Hauptfchnitte;

2⁰ da der Schattengrad von unten nach oben langfamer finkt wie von innen nach außen, und da die dominirenden Aefte die horizontale Lage nicht völlig erreichen, fo wird in den unteren Theilen der Krone der morphologifch äußere (untere), in den oberen Theilen aber der morphologifch innere (obere) Aft herrfchend;

3⁰ daher herrfcht in der unteren Region Hyponaftie, in der oberen die Epinaftie vor. Man könnte hier leicht einwenden, daß diefe Erklärung wohl für die decuffirten Blattftellungen, nicht aber für die cyklifchen, namentlich nicht für die Buche Geltung haben kann. Diefer Einwurf würde zur Geltung kommen, wenn die Bäume, deren feitliche Divergenz ½ ift, geometrifch abfolut ftreng aus der Knofpenlage herauswüchfen. Für folche gäbe es allerdings nur einen Hauptfchnitt, die Ebene nämlich, welche den Stamm und die Aefte der erften Ordnung aufnimmt. Es ift aber leicht einzufehen, daß die Gefetzmäßigkeiten, welche in der Anlegung herrfchten, bei der entwickelten Krone in Folge der natürlichen Reinigung verwifcht find.

c) Der Trockenaft und der unterdrückte Aft der unteren Stammregion beeinfluffen die Vertheilung des Holzes bei der Hainbuche. Sucht man hier die Einfügungsftelle, fo findet man auch die tragende Axe zum Theil corrodirt, durch die Gummofis, welche hie und da die Zellwandungen auflöft. Von dem gefunden Cambium des tragenden Aftes aus wird eine callofe, ringförmig die Bafis des Trockenaftes umfaffende Holzmaffe gebildet, welche den vermorfchten Aft abfchnürt.

Man kann daher aus der Art und Weiſe der natürlichen Reinigung die Schafthölzer in aſthaltige (Fichte, Tanne, Kiefer) und aſtreine eintheilen (Buche, Eiche, Pappel, Weide). Damit ſoll nicht geſagt ſein, daß in den

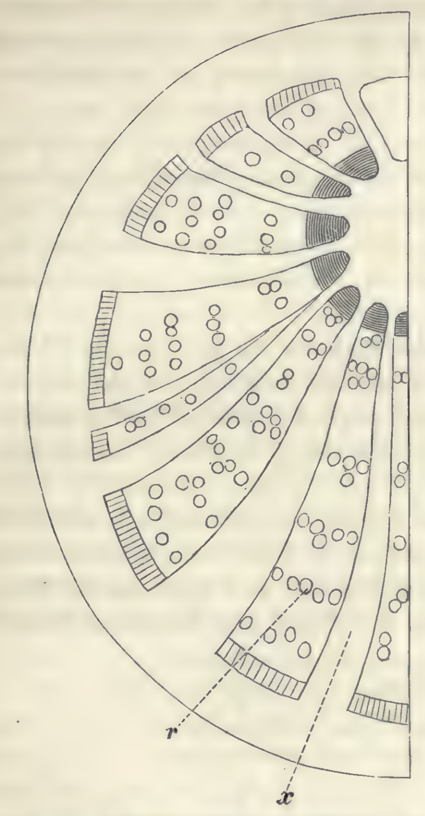


Fig. 271. Ariſtolochia Serpentaria. Querſchnitt des Holzkörpers. *x* Markſtrahl, *r* Holzkörper.

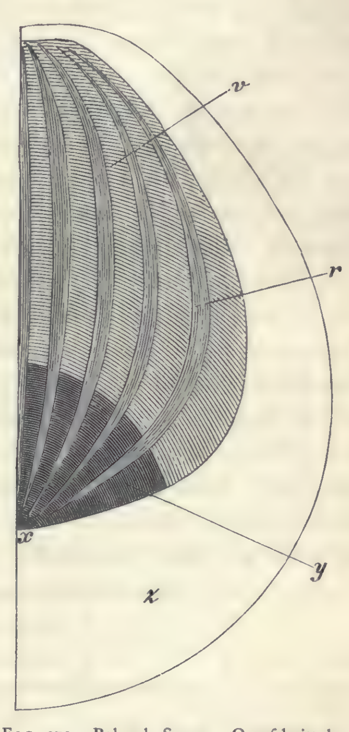


Fig. 272. Polygala Senega. Querſchnitt des Holzkörpers. *r* Markſtrahl, *x* Holzkörpermittelpunkt, *v*, *r* Rinde.

letzteren überhaupt keine Aeſte eingewallt werden. Bei der Fichte aber iſt es Regel, daß die Holzconvolute des tragenden Stammes über den unterdrückten oder trockenen Aſt Jahrzehnte lang vorgeſchoben werden, während bei den Laubhölzern früher Bruch der Trockenzweige höherer Ordnung und muſchelförmiges Ausbrechen der mittleren Trockenäſte Regel, das Ueberwachſen und Einwallen auf viele Centimeter weite Strecken die Ausnahme bilden.

d) Das Verhältniß des ausdauernden Zweigſyſtems zu dem alljährlich hinfälligen bewirkt Hyponaſtie bei einigen Rhizomgewächſen mit horizontal im Boden wachſendem Stamme. Am lehrreichſten iſt das Rhizom von Aſarum europæum und Ariſtolochia Serpentaria.

Die Hyponaſtie beruht hier darauf, daß, bezogen auf das horizontal

wachſende Rhizom, die Reſervoire für die plaſtiſchen Nährkörper alle auf der Unterſeite liegen: es ſind die Wurzeln. Da die Blätter- und Blüthenzweige einjährig ſind, ſo kommen ſie zur Zeit des Zuwachſes im Holzkörper des Stammes (im Beginn der Vegetationsperiode) gar nicht in Betracht. Der periodiſche Zuwachs, welcher ſich im Holzkörper in concentriſchen Ringen iſolirter Holzelemente, Fig. 271, kenntlich macht, iſt auf der Oberſeite faſt unterblieben.

Auf der Anordnung der im Hauptſchnitt belegenen Aeſte beruht es, daß die der Anlage nach völlig gleichen Blätter der Decuſſirten (Ahorn, Eſche, Roßkaſtanie) ſo außerordentlich ungleiche Größen erreichen. Bei der Roßkaſtanie und dem Ahorn wirkt dieß in auffälligſter Weiſe auf die Maſſenvertheilung in denjenigen Zweigen nächſter Ordnung zurück, welche ebenfalls im Hauptdurchſchnitt liegen.

Ein 2 m langer horizontal ſtehender Ahornaſt aus dem unteren Theile der Krone wurde unterſucht, um eine Vorſtellung von der Vertheilung der Holzmaſſe zu erhalten. Es wurden die Zweige derjenigen Wirtel gemeſſen (nachdem ihre Neigung zum Lothe beſtimmt war), welche im Hauptdurchſchnitt liegen. Derjenige Zweig, welcher nach abwärts gerichtet iſt, erhält das poſitive, der aufwärts gerichtete das negative Vorzeichen. In der nachfolgenden Tabelle iſt die Länge des Zweiges, die Entfernung von der Baſis des tragenden Aſtes, die Neigung zum Lothe und zum Theil das Gewicht verzeichnet. Die aufeinander folgenden Wirtel ſind mit Buchſtaben belegt.

Zweig.	Neigung zum Loth.	Länge in Centimetern.	Entfernung in Centimetern.
$-a_1$	120°	20	30
a_2	65°	26	
$-b_1$	120°	15	42
b_2	65°	25	
$-c_1$	120°	21	55
c_2	65°	36	
$-d_1$	130°	80	70
d_2	70°	113	
$-e_1$	120°	2,5	100
e_2	85°	4,5	
$-f_1$	170°	4,8	110
f_2	45°	5,5	
$-g_1$	140°	17	145.
g_2	45°	40	

Die Gewichte der beiden ſtärkſten Zweige ſind: 80,349 g für den abwärts gerichteten d_2, und 50,899 für den aufwärts gerichteten d, ſomit ein Unterſchied von 29,460 g für zwei der Anlage nach gleichwerthige

Knoſpen. Bei den decuſſirten, namentlich bei der Roßkaſtanie, iſt dieſer Unterſchied jedenfalls nicht von der Neigung zum Lothe direct abhängig in der Weiſe, daß die Gravitation den Größen- und Maſſenunterſchied bewirkt, ſondern die Beſtrahlung wird für die mit dem Lothe wachſenden Blätter größer, ſo daß dieß Verhältniß ganz unter den Geſichtspunkt fällt, welchen wir bei Betrachtung der Fig. 268 *a' a''* S. 273 entwickelt haben.

Der Satz «ein jedes Stofftheilchen, welches in der Pflanze einkehrt, unterliegt in allen ſeinen Bahnen gleichzeitig dem Einfluß der Gravitation», wird ſomit aus den Verſuchen S. 231 ff. und Beobachtungen S. 239 ff. dahin ausgeſprochen werden müſſen:

Ein jedes Stofftheilchen, welches gegen die Gravitation in die Pflanze hereingezogen wird, unterliegt in allen ſeinen Bahnen der Schwere, die Verſchiebung, welche dieſe Componente bewirkt, iſt aber verſchwindend klein gegenüber derjenigen, welche durch die in dem vorhandenen Syſtem herrſchenden Anziehungskräfte bewirkt wird.

Die Wirkung einſeitiger Förderung der Krone zeigt ſich endlich am deutlichſten in der Ausbildung der Callusmaſſen, welche ſich an geringelten Bäumen an dem oberen Wundrande bilden. Man erkennt an ſolchen geringelten Aspen-, Buchen- und Eichenſtämmen, welche drei Jahre vor der Abmuſterung etwa handbreit geringelt wurden, daß die Callusmaſſe nach Süden am ſtärkſten entwickelt iſt. Sie iſt über die Wunde vorgeſchritten

im Norden um	2,5	mm,
Oſten »	2	»
Süd-Süd-Oſt um	5	»
Süd um	7,5	»
Weſt »	2	».

Viele hier einſchlägige Phänomene laſſen ſich unter demſelben Geſichtspunkte erklären, welcher in dem Vorſtehenden dargelegt iſt. So ſind alle Spalierobſtbäume, in welchen das Syſtem von $^2/_5$, $^3/_8$ u. ſ. f. durch künſtlichen Eingriff auf die Stellung der Zweige nach $^1/_2$ gezwungen iſt und die durch Anpreſſen an eine feſte Wand einſeitiger Beſtrahlung ausgeſetzt ſind, in der Richtung des Strahles abgeplattet.

Alle Kiefernwurzeln, gleichgültig wie ihre Lage zum Lothe, ſind im Querſchnitte elliptiſch und ſtets liegt das Mark excentriſch. Der große Durchmeſſer aller Ellipſen fällt aber in die Ebene der Inſertion der nach $^1/_2$ geſtellten Seitenwurzeln. Das Mark liegt je nach der Stellung des nächſten Wurzelzweiges ſowohl nach außen wie nach innen verſchoben (innen entſpricht der Richtung nach dem Querſchnitte der Hauptwurzel).

Nach dieſen Betrachtungen muß in einem und demſelben Baume im unteren Theile der Krone die Hyponaſtie häufiger ſein, weil mehr Aeſte

auf der unteren Seite des tragenden Aftes herrfchend werden. In der mittleren Region muß fich das Verhältniß gleich bleiben. In der oberen aber muß die Epinaftie vorherrfchen.

In den drei Regionen der Buchen-Krone 8 bis 15 m, 15 bis 20 m, 20 bis 23 m, fand ich:

1. Region 36 % epinaftifche,
60 % hyponaftifche,
4 % iforadiäre.
2. Region 36 % epinaftifche,
39 % hyponaftifche,
24 % iforadiäre.
3. Region 64 % epinaftifche,
28 % hyponaftifche,
7 % iforadiäre.

Damit ift das Phänomen entfprechend den Vorausfetzungen auch im complicirteften Fall auf die äußeren Einflüffe der Lage und Beftrahlung zurückgeführt.

An dem Rhizom der Polygala Senega, Fig. 272, ift der Holzkörper nur nach einer Seite typifch ausgebildet, nach der andern Seite nicht. Diefer Querfchnitt muß eine Schraubenlinie befchreiben um eine in x fenkrechte Axe, alsdann wird ein Körper befchrieben, in welchem die normale Holzfeite bald nach oben bald nach unten bald nach der Seite des horizontal liegenden Rhizomes hinweift.

In ähnlichem Sinne, aber mit deutlicher, wennfchon mit rudimentärer Ausbildung des Holzkörpers nach der oberen Seite des horizontalen Rhizomes wird bei der Ariftolochia Serpentaria, Fig. 271, die Zuwachsmaffe vorzugsweife nach unten abgefchieden, weil, wie fchon oben angedeutet, nach diefer Seite das größere und perennirende Refervoir der affimilirten Nährkörper liegt, nämlich die Wurzeln. Die Erklärung diefer Erfcheinung fällt fomit unter den in *d* entwickelten Gefichtspunkt.

§ 28. Periodische Bewegungserscheinungen.

Allgemeine Betrachtung der Perioden[1]).

Wir rechnen hieher:

1° die Bewegungen der Blätter und Fiederblätter der Trifolium, Oxalis, Stellaria (Keimblätter), Mimofa pudica (und vieler Akazien), des Desmodium gyrans, der Dionnæa und Drofera;

[1]) Dan. Müller, Ueber die Reizbarkeit der Genitalien bei einigen Compofiten. 789. Bot. Ztg. 53. — Dr. J. Sachs, Ueber das Bewegungsorgan und die periodifchen Bewe-

2⁰ das Oeffnen und Schließen der Blüthen: Convolvulaceen, Gentianeen, Compofiten und zahlreiche andere.

Hiebei ift zu beachten, daß die betreffenden Organe ausgewachfen find, eine Spannungsänderung durch Wachsthumsvorgänge alfo ausgefchloffen ift. Als Urfachen der Lageänderungen, wie wir fie an den genannten Pflanzentheilen beobachten, werden wir anfehen:

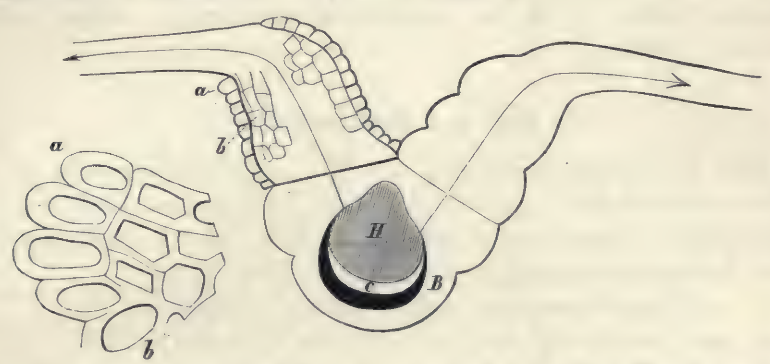


FIG. 273. Acacia lophanta. Querfchnitt der Blattrippe an der Einfügung zweier Fiederblättchen. *a b* vergrößerte Parthie der Außenzellen vom Gelenkpolfter. *H* Gefäßbündel, *C* Cambiform, *B* Baft desfelben.

1⁰ den Wechfel äußerer Zuftände Tag und Nacht, Licht und Dunkel, höhere und niedere Temperatur (allgemein Temperaturwechfel), künftliche Eingriffe, Druck, Erfchütterung, Berührung, electrifche Schläge, Veränderung des Druckes der Atmofphäre, Einwirkung fchädlicher Gafe und Dämpfe (Kohlenfäure, Alkohol, Aetherdampf);

2⁰ innere Zuftandsänderungen werden hervorgerufen durch ungleiche Ernährung, Verdunftung, Athmung in den verfchiedenen hintereinanderbelegenen Zeitpunkten.

Hier wird man beachten müffen, daß, wenn ein äußerer Wechfel, z. B. in der Beleuchtung oder Temperatur die Reizpflanze fo afficirt, daß die in ihren Zellen ftrömenden Affimilationsproducte gehäuft oder vermindert werden, die volle Rückwirkung über das ganze Syftem der Pflanze Zeit in Anfpruch nimmt, daß eine Verzögerung in der Wirkung des äußeren Zuftandswechfels an der Pflanze eintritt.

Auf die innern Zuftandsänderungen wird man leicht aufmerkfam, wenn man eine und diefelbe Pflanze ein Mal bei conftantem Drucke an einem Queckfilbermanometer, das andere Mal (bei fonft gleichen Umftänden)

---

gungen der Blätter von Phafeolus und Oxalis. 793. 809. Bot. Ztg. 57. — W. KABSCH, Ueber die Einwirkung verfchiedener Gafe und des luftverdünnten Raumes auf die Bewegungserfcheinungen im Pflanzenreiche. 341. 53. Bot. Ztg. 62. — W. PFEFFER, Ueber Fortpflanzung des Reizes bei Mimofa pudica. PRINGSH. Jahrb. Bd. IX. S. 309. HECKEL's Anfichten über Reizbewegungen. 289. Bot. Ztg. 75.

bei ſinkendem Drucke verdunſten läßt. Bei conſtantem Drucke ſind die Waſſermengen, welche verdunſten, conſtant. Sinkt aber während der Verdunſtung der Druck in dem Manometer bis 0 und damit die in der Zeiteinheit verdunſtende Waſſermenge, ſo ändert ſich der Zuſtand der Vertheilung namentlich dann, wenn die Pflanze in's Saugen geräth (alſo einen negativen Druck erfährt). Steigert man jetzt plötzlich den Druck auf die anfängliche Größe, ſo iſt die Verdunſtung jetzt anfangs kleiner wie im Beginn des Verſuches.

A. Tag- und Nachtperioden[1]).

Sind die Stellungsänderungen von Tag und Nacht abhängig, ſo muß die Bewegungsurſache Folge des Licht- oder Temperaturwechſels ſein. Mit dieſen täglichen Perioden aber coïncidiren mehr oder weniger genau die inneren Zuſtandsänderungen an der Pflanze. Dieſe ſind:

1° die Gewebeſpannung, welche Nachts im Maximum iſt;

2° die Verdunſtung, welche Nachts ihr Minimum erreicht;

3° der größte Waſſergehalt der Gewebe in Folge von 2° wird Nachts erreicht.

Ueber die Periodicität der Gewebeſpannung mögen die Arbeiten MILLARDET's herangezogen werden, um ſo mehr, als dieſer Forſcher gerade die ſehr empfindliche Mimoſa pudica als Studienobject gewählt hat. Er ſtellte eine Mimoſenpflanze unter dem Winkel von 45° geneigt an's Fenſter auf und führte von einem oberen Internodium einen Seidenfaden nach einem Zeiger, welcher um eine horizontale Axe in einer verticalen Ebene ſich bewegt.

Mit Hilfe dieſes Apparates kann beſtimmt werden, wie raſch die geotropiſche Krümmung erfolgt und ſich bei dem Umkehren der Pflanze wieder ausgleicht. Dieſe iſt nach der Auffaſſung MILLARDET's direct abhängig von der Größe der Gewebeſpannung.

Die Gewebeſpannung iſt des Nachts größer wie am Tage. Das abſolute Maximum liegt in den Stunden 5—7 Uhr Morgens (Fig. 274), das abſolute Minimum liegt im Zeitraum von 11—2½ Uhr des Mittags. Außer dieſen giebt es noch eine geringere Schwankung mit zwei Maximis, eines am Morgen, eines am Abend, dieſe aber beſitzen nicht die geſetzmäßige Lage in der Zeit, ſ. Fig. 274.

Die Cotyledonen der Alſineen ändern ihre Lage in dem Sinne, daß ſie ſich des Nachts mit den morphotiſchen Oberſeiten des Blattes aneinander-

---

1) MILLARDET, *Nouv. rech. sur la period. de la tension.* Strasbourg, Silbermann 1869. — PFEFFER, Phyſiolog. Unterſ. Leipzig. Engelmann. 1873. Period. Bewegungen der Blattorgane. Ebend. 1875.

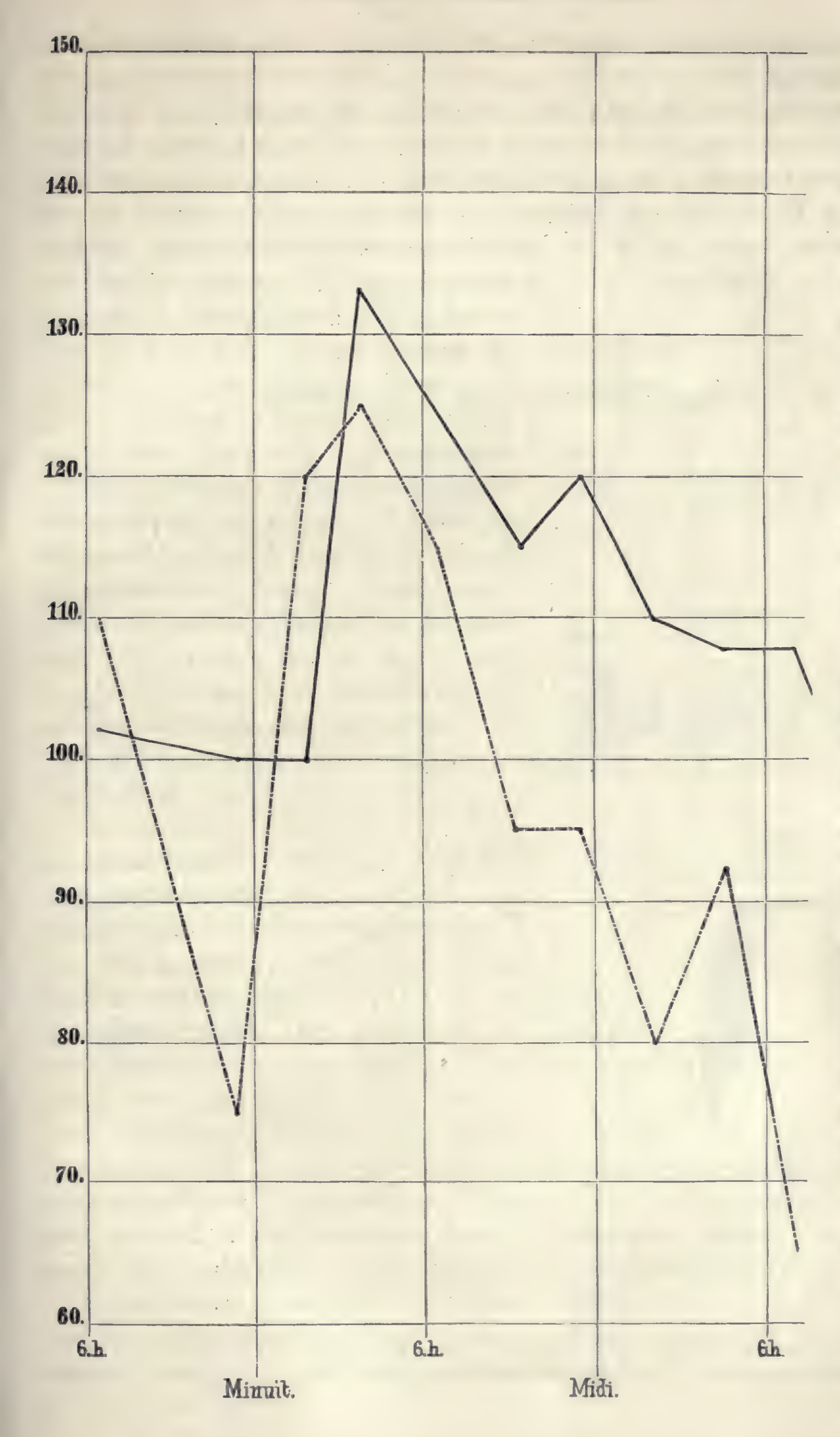


Fig. 274. Gang der Gewebeſpannung in 2 Blättern einer Mimoſa pudica nach Millardet. Die Abſciſſe iſt die Zeit, die Ordinate die Größe der Spannung, gemeſſen in dem Winkel, welchen der Hauptblattſtiel mit der Axe einſchließt.

legen, am Tage öffnet fich der Winkel zwifchen den beiden Medianen bis zu 180°, Fig. 275.

Die Theilblättchen des Klees, des Phafeolus, Papilionaceen u. a. m., die Oxalisarten ändern ihre Lage periodifch. Sie legen fich mit der morphotifchen Unterfeite an den Hauptblattftiel des Nachts und erheben das Blatt am Tage. Bei allen diefen gefchieht die Drehung um ein Gelenk im Blattftiel, an welchem ein parenchymatöfes Gelenkpolfter als Muskelapparat thätig ift. Die complicirtefte Bewegung, aber auch die lehrreichfte zeigt die Mimofa pudica. Das Blatt ift vom Hauptblattftiel aus getheilt in 5—7 Seitenblätter, jedes diefer ift gefiedert. Verfolgt man die Bewegung vom letzten Fiederblättchen nach dem Hauptblattftiel: wird die Pflanze im empfindlichen Zuftande durch eine leife Berührung am Fiederblättchen gereizt, fo fchließt fich zunächft das erfte Paar von Blättchen, indem fich die Spreiten um die Einfügungsftelle um 180° drehen. Die Blattfläche wird dabei gegen die Schwere gehoben. Der Reiz pflanzt fich vom berührten Blättchenpaar zum nächften mit gelegentlicher Ueberfpringung eines Paares über das ganze Theilblatt fort, läuft in den nächften Theilblättern weiter, bis alle Blattpaare gefchloffen find, fodann legen fich die Hauptblattftiele diefer zufammen und endlich dreht fich der Hauptblattftiel um feine Einfügungsftelle fo, daß der Winkel an der unteren Seite mit der Axe verkleinert wird. Diefe letztere Bewegung geht im Sinne der Schwerkraft vor fich. Das Blatt finkt. Nach einiger Zeit hebt fich der Blattftiel wieder, die Blättchenpaare entfalten fich, das Blatt ift von Neuem reizbar. Geftaltlich ift die Nachtftellung mit der Reizftellung gleich. Am Tage entfaltet fich das Blatt, in der Nacht fchließt es fich.

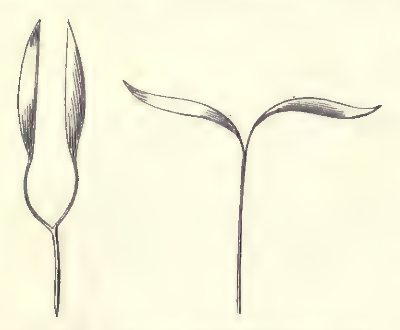


Fig. 275. Tag- und Nachtftellung der Cotyledonen der Alfineen. Das Licht ift die Urfache.

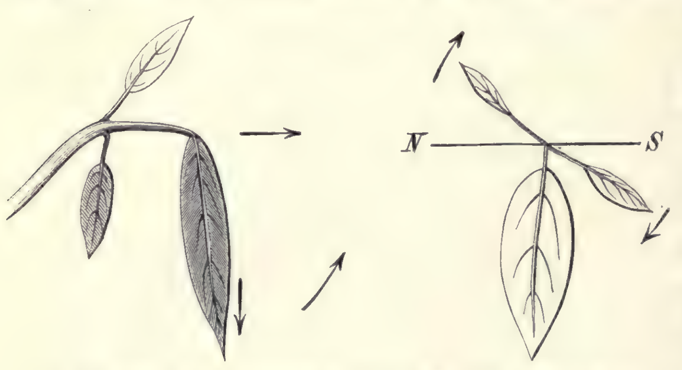


Fig. 276. Schema der periodifchen Bewegung am Blatte von Hedyfarum gyrans.

Hedysarum gyrans bewegt das Endblatt im Rhythmus oscillirend; im Zeitraum von mehreren Minuten wird eine Oscillation vollführt, die Seitenblättchen gehen abwechselnd auf und ab, je eine Oscillation erfordert aber nur wenige Secunden.

Das große Blatt bewegt sich einmal auf und ab, während die kleinen etwa 5 Schwingungen ausführen. Die Bewegung ist vom Lichte unabhängig. Fig. 276.

Bei Megaclinium falcatum oscillirt die Lippe der Blüthe mit kleiner Amplitude, aber großer Geschwindigkeit.

B. Theorie der Bewegung.

1. Muskelapparate, Gelenke[1]).

Bei allen um ein Gelenk drehbaren Blättern der Papilionaceen ist ein sichtbarer Muskelapparat in Thätigkeit, welcher das drehbare Organ während der Tagstellung in labilem Gleichgewicht hält. Es sind kleine parenchymatöse Polster, welche positiv gespannt sind und antagonistisch wirken. Der eine befindet sich auf der Ober-, der andere auf der Unterseite des Blattstieles.



Fig. 277. Oxalis acetosella. *a b* das Blatt in der Nachtstellung, *a* aufrecht, *b* verkehrt. *c* das durch Schütteln gereizte Blatt in umgekehrter Lage.

Wird der obere durch einen Messerschnitt abgetragen, so kommt der untere Muskel allein zur Wirkung, das Blatt hebt sich und gelangt in eine stabile Lage, die Reizbarkeit verschwindet aber vollständig.

Bei Entfernung der unteren senkt er sich ebenso, die Reizbarkeit verschwindet nicht vollständig (Lindsay und Brücke).

Wirken beide aber gleichzeitig, so genügt ein geringer Spannungsüberschuß des einen oder anderen Muskels, um das Blatt in dem einen oder andern Sinne um das Gelenk zu drehen.

Daß es ein geringer Ueberschuß der Muskelkraft solcher Polster ist, welcher diese Bewegungen hervorbringt, kann bewiesen werden, indem man eine reizbare Mimosenpflanze an einem geeigneten Manometer, Fig. 278, unter einen hydrostatischen Druck von $^1/_2$ Atmosphäre setzt. Der Druck pflanzt sich, wenn schon nicht mit der ganzen Größe, nach den Polstern

---

[1]) Prof. H. R. Gœppert, Ueber das Verhalten einer Mimosa pudica während des Fahrens. 110. Bot. Ztg. 62. — F. Unger, Ueber die Structur einiger reizbarer Pflanzentheile. 113. Bot. Ztg. 62.

fort. Dabei erreicht der untere die größere Spannung. Das fonft unverletzte Blatt geräth in die ftabile Erhebungsftellung.

Brücke's Experiment.

Bei jeder Bewegung in Folge eines Reizes muß etwas von der Muskelkraft verloren gehen. Das Blattgewicht zieht an einem langen Hebelarm. Die Feftigkeit des Syftems wird abhängen von der Spannkraft des Muskelpolfters und wird beftimmt werden können, wenn das Syftem umgekehrt wird, fo daß jetzt die Laft den oberen Winkel zu verkleinern ftrebt.

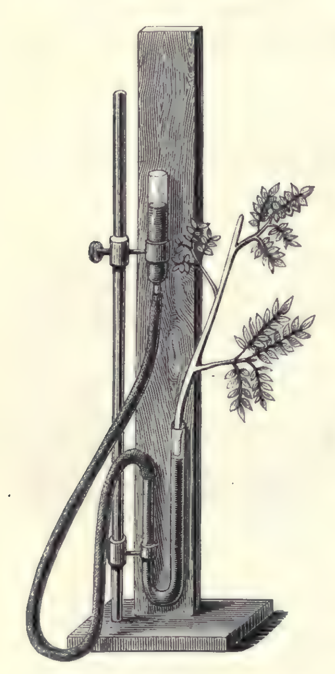


Fig. 278. Eine Mimofenpflanze am Manometer.

Der Winkel betrug in der Tageftellung 50°, in der aufrechten 40°, in der umgekehrten Stellung nach der Reizung aber 30°. Bei der Nachtftellung ergab die Umkehrung eine geringere Verkleinerung. Es folgt hieraus: bei dem allmäligen Uebergang aus der Tag- in die Nachtftellung erfchlaffen die Polfter weniger wie bei dem plötzlichen Uebergang aus der Tag- in die Reizftellung, wiewohl beide Uebergänge geftaltlich gleichfinnig verlaufen.

Der Reiz fowohl wie die Kraft, welche die periodifche Lagenänderung bewirkt, pflanzen fich in den Hauptgefäßbündeln fort. In der Anordnung diefer Bahnen ift auf ein anatomifches Verhältniß zu achten. Denkt man fich eine ftrömende Bewegung, etwa einen Wafferftrom von der Stammbafis nach den Auszweigungen in der Wachsthumsrichtung der Pflanze, fo hat diefe den geringften Widerftand zu überwinden, wenn fie von der Hauptrichtung fich abzweigt in die Gefäßbündel des Blattftiels, von da in das Theilblatt und endlich in die Nerven der Fiederblättchen. In der genannten Richtung nämlich macht jede folgende Zweigbahn einen ftumpfen Winkel mit der vorhergehenden Hauptbahn.

Umgekehrt liegt das Verhältniß, wenn der gedachte Strom von der Spitze des Stammes fich über das ganze Syftem ausbreiten foll, jetzt alfo der Wachsthumsrichtung entgegen. Jedesmal wenn er in eine Seitenbahn einbiegt, findet ein merklicher Verluft der bewegenden Kraft ftatt, weil er unter fpitzem Winkel in diefe einbiegen muß. Daher kommt es, daß bei der periodifchen Bewegung Tag und Nacht alle Blätter faft gleichzeitig in Mitleidenfchaft gezogen werden. Bei der Fortpflanzung eines Reizes aber,

vom äußern Blättchenpaar nach dem Stamme zu, wird ein merklicher Zeitaufwand auffällig.

2. Einfluss des Reizes. Stoss. Electrischer Schlag. Temperaturwechsel.

Bei fehr empfindlichen Reizpflanzen (hier ift in erfter Linie die Mimofa pudica als Studienobject zu wählen) bewirkt ein kleiner Anftoß, ein Inductionsfchlag, aber auch ein plötzlicher Temperatur- und Lichtwechfel die Auslöfung derfelben Bewegung, welche von der Tag- nach der Nachtftellung führt.

3. Gewöhnung an den Reiz[1]).

Eine Mimofa, welche durch den electrifchen Schlag in die Reizftellung übergeht und lange Zeit, mehrere Stunden fortwährend fchwache Inductionsfchläge erhält, gewöhnt fich an den Reiz, fo daß fie endlich wieder die Tagftellung einnimmt, und in diefer für Berührung reizbar wird. Wenn nun der Strom plötzlich unterbrochen wird, fo geht fie inftantan in die Reizftellung über. Auch mechanifche Erfchütterungen, wie fie beim Fahren ftetig wirken, follen die gleiche Wirkung ausüben.

4. Phototonus und Dunkelstarre[2]).

Bei normaler Beftrahlung und Temperatur erreicht die Mimofe den höchften Grad der Empfindlichkeit. Sie reagirt dann namentlich auf den Lichtwechfel, fie ift im Zuftand des Phototonus.

Der umgekehrte Zuftand tritt ein, wenn fie lange Zeit im Dunkeln verweilt, fie geräth in den Zuftand der Starre, der Unempfindlichkeit für äußere Reize.

Paratonifche Lichtwirkung wird die Bewegung genannt, welche im Zuftande des Phototonus eintritt, wenn die Intenfität der Beleuchtung wechfelt. Sinkt diefelbe, fo nähert fich das Blatt der Nacht-, fteigt die Intenfität, fo nähert fich das Blatt der Tagftellung.

Unterfuchen wir zunächft die Theorie der Mechanik der Muskelbewegung bei der Mimofe, fo ift:

1⁰ zu erklären, wie die Muskelhälften eingerichtet find;

2⁰ fodann ift offenbar zu erklären, warum der eine jeweilig ftärker ift wie der andere;

3⁰ in welchem Sinne löft der Reiz die Spannkraft in actuelle Energie aus?

4⁰ in welchem Sinne löft das Licht diefe Spannkraft aus?

---

[1]) LINDSAY, *Quarterly Journal of sciences, liter. and arts 1827. 28.*

[2]) MILLARDET, a. a. O. S. 23 ff. — PFEFFER, Unterfuchungen über Reizbarkeit. S. 25 ff.

5⁰ wie iſt ein Temperaturwechſel im Stande, die gleiche Wirkung zu veranlaſſen?

Natur des Muskels.

1⁰ Der Querſchnitt der Polſter iſt abgeplattet eine Ellipſe oder nierenförmig. Ein centrales Gefäßbündel iſt umgeben von poſitiv geſpanntem Parenchym. Das Gefäßbündel wird in der Beugungsſtelle negativ geſpannt, entweder ſo, daß die obere Seite convex wird wenn das Blatt geſenkt wird, oder die untere Seite wird convex wenn das Blatt ſich hebt; trägt man die Gelenkhälfte des Polſters ab, ſo krümmen ſich beide nach der Schnittfläche concav. Dieſelben ſind alſo wirkliche Antagoniſten bezogen auf die Drehung, welche der Blattſtiel ausführt. Auch an den Blättchenpaaren ſind für je ein Blättchen zwei ſolcher Antagoniſten im Spiele. Hier iſt aber zu beachten, daß bei je einem Uebergang von der Nacht- zur Tagſtellung der umgekehrt belegene Polſtertheil das Uebergewicht erlangt, bezogen auf den Hauptblattſtiel. Hier iſt der untere der überwiegende, dort iſt es der obere. Das Polſter iſt oben etwas dünner wie unten. Die Parenchymzellen desſelben führen Intercellularräume, dieſe können mit Carmin injicirt werden (PFEFFER a. a. O., S. 12). Bei der Krümmung des oberen Polſters wird das untere comprimirt, und umgekehrt. Hiebei kann das Geſammtvolum conſtant bleiben. Aus dem unteren Gelenkwulſt geht Waſſer zum Theil nach den oberen, zum Theil in den Blattſtiel. Die Dickenabnahme iſt bei der beſagten Krümmung im oberen Polſtertheil ein wenig geringer wie die Zunahme im unteren.

Nach der Entfernung eines der Seiten dauert die periodiſche Bewegung noch fort.

Die Sache liegt jetzt alſo ſo, daß in der Tagſtellung das untere Polſter den Blattſtiel hebt, indem es die Elaſticität des oberen ganz und diejenige des Gefäßbündels zum Theil überwindet. «Der Reiz und die paratoniſche Einwirkung bewirken, daß das untere Waſſer verliert. Darin und in der damit verbundenen Erſchlaffung der Zellen liegt die nächſte Urſache der Bewegung des gereizten Polſters.» In ähnlicher Weiſe müſſen ſich auch die Polſter der Blättchenpaare verhalten. Dort erſchlafft aber bei dem Reiz das obere. «Worin es beruht, daß hier das untere erſchlafft, dort das obere, iſt aus den vorliegenden Angaben nicht zu ergründen.»

2⁰ Warum die Polſterhälften jeweilig unten am Hauptblattſtiel, jeweilig oben am Blättchenpaar an Stärke zunehmen, iſt ebenfalls aus den vorliegenden Studien nicht zu erklären, das Einzige was man weiß iſt ſchon im Vorhergehenden in 1⁰ S. 285 enthalten, daß nämlich Schwankungen in der Geweheſpannung ſich raſcher und energiſcher den unteren wie den oberen Polſterhälften am Hauptblattſtiel mittheilen.

Auch in den Fragen 3^0 4^0 5^0, S. 287, lassen uns die gefundenen Thatsachen ganz im Stich[1]). Die Kenntniß der äußeren Phänomene hat aber durch zwei Arbeiten PFEFFER's einen kleinen Zuwachs erfahren[2]):

a) die periodischen Bewegungen, welche durch Verlängerung, beziehentlich Volumzunahme antagonistischer Gewebestreifen zu Stande kommen, sind rückläufig (Variationsbewegung nach PFEFFER) oder sie entstehen durch Wachsthum (Nutationsbewegung nach demselben Forscher);

b) bei Lichtwechsel tritt eine Receptionsbewegung (d. h. paratonische Bewegung nach SACHS) ein, welche aus einem Hin- und Hergang besteht, weil der Lichtwechsel die beiden antagonistischen Hälften des Muskelpolsters zu ungleichem Expansionsstreben reizt. Steigerung des Lichtes bewirkt Abnahme der Expansion, Verringerung aber bewirkt Zunahme der Expansion in den Antagonisten. In gleichem Sinne wird das Wachsthum beeinflußt an solchen Organen, wo dieses die Ursache der Bewegung ist;

c) plötzliche Verdunkelung steigert die Expansion, beziehentlich das Maß des Wachsthums über dasjenige Maß derselben Bewegungen, welches für die stabile Gleichgewichtslage bei lange dauernder Verdunkelung eingehalten wird;

d) nach einer durch Verdunkelung erfolgten Receptionsbewegung folgen als Nachwirkung einige Oscillationen des Blattes, deren Amplitude sich allmälig verringert. Die Dauer und die Wirkung beider Bewegungen sind nicht gleich, nehmen aber im Allgemeinen mit der Größe des Lichtwechsels zu;

e) die tägliche Periode der Bewegung kommt durch das gleichsinnige Zusammenwirken der paratonischen und der Nachwirkungsbewegung zu Stande;

f) durch constante Dunkelheit und constante Beleuchtung wird die täglich periodische Bewegung eine Zeit lang, zuletzt mit geringerer Intensität fortgesetzt, erlischt aber zuletzt. Hieraus ergiebt sich, daß der tägliche Lichtwechsel der erblichen Neigung zur Bewegung gegenüber nicht als Regulator, sondern vielmehr als Ursache derselben angesehen werden muß.

C. Reizbewegung der Staubfäden.

Die Bewegungen der Staubfäden in Folge äußerer Anstöße geschehen dadurch, daß in dem Filamente einseitig positiv und negativ gespannte Streifen zur Wirkung gelangen:

---

[1]) Genaue Zusammenstellung der älteren Literatur und eine Reihe phänologischer Studien in: PFEFFER, Die period. Bewegungen der Blattorgane. Leipzig. Engelmann. 1875. S. 3 ff. S. 171 ff.

[2]) PFEFFER zieht noch bei Besprechung der Reizerscheinungen der Cynareen-Staubfäden das Protoplasma heran. Der Reiz, in Folge dessen der Wasserverlust in den Zellen des comprimirten Polsters eintritt, bewirkt, daß das Protoplasma ähnlich wie bei der Con-

1⁰ bei Berberis Mahonia liegen folche Streifen, wie die Pfeile der Fig. 279 andeuten. Bei der leifeften Berührung fchnellt der Staubfaden aus der Lage *a* nach der Lage *b*.

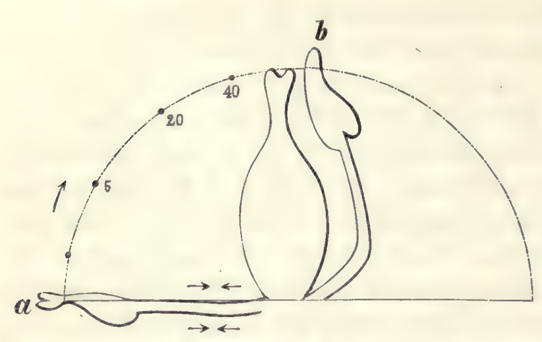


Fig. 279. Schema der Bewegung des Staubfadens von Berberis vulgaris. *a* die normale, *b* die Lage nach der Reizung.

Die Bewegung wird nach einiger Zeit rückläufig. Es wird aber ein fehr viel größerer Zeitraum gebraucht, um die Lage *a* wieder zu erlangen;

2⁰ bei der Parietaria wird der Staubfaden durch ein, bei *c* Fig. 280 belegenes Gelenkpolfter nach außen gefchnellt, *a* die Anfangs-, *b* die Endlage. Die Bewegung geht nur einmal vor fich, fie ift nicht rückläufig;

3⁰ die Filamente der Mittelfeldblüthen der Cynareen, fo insbefondere der Centaureaarten, verkürzen fich bei leifer Berührung fo, daß die Röhre der verwachfenen Staubbeutel an dem Griffel zurückgefchoben wird, wobei häufig die ganze Blüthe fich krümmt, Fig. 281. Der Uebergang von *a* nach *c* ift faft inftantan, wenn man mit einer Nadelfpitze die Staubfäden berührt.

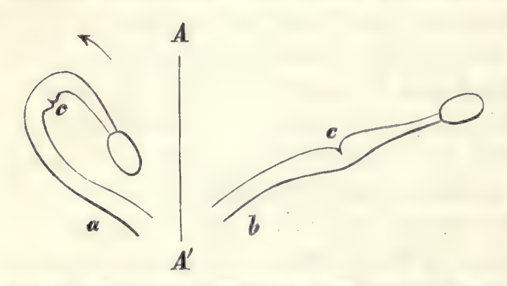


Fig. 280. Parietaria. *A* Blüthenaxe. *a* Staubfadenlage in der Knofpe, *b* in der Blüthe.

Unger[1]) konnte durch Meffen der Abftände der Papillen, wie fie am Filamente hier reichlich vorkommen, Fig. 282 *B*, zeigen, daß bei der Bewegung aus der Lage Fig. 282 *A* nach der in Fig. 282 *C* eine merkliche Contraction des Filamentes ftattfindet. Vor der Reizung ift die Spannung in dem Filament fo vertheilt, wie es die Pfeile in Fig. 282 *C* andeuten, in dem fpäter convexen Theil herrfchte Abftoßung, in dem fpäter concaven Theil herrfchte Anziehung zwifchen zwei kleinften Membrantheilchen.

---

traction durch concentrirte Löfungen Waffer ausftößt, welches durch die Membran dislocirt wird. Damit foll hypothetifch die Reizerfcheinung der Senfitiven auf die Reizerfcheinung des Protoplasma zurückgeführt fein. a. a. O. S. 133 ff.

[1]) Dr. F. Unger, Einige Bemerkungen über die Bewegungserfcheinungen an den Staubfäden der Centaurea. 349. Bot. Ztg. 63.

Bei dieser Lagenänderung macht sich eine Volumverminderung geltend, indem ein Theil der Zellflüssigkeit in die Intercellularen dislocirt wird[1]).

---

§ 29. Schlingen und Ranken[2]).

An den Eingang zu diesen Bewegungen muß eine Betrachtung aus der groben Anatomie der höheren Pflanzen gestellt werden: «die Gewebeelemente, zwischen welchen vorzugsweise Gewebespannung herrscht, die Gefäßbündel einer- und die parenchymatösen Gewebe der Rinde andererseits, sind niemals als parallel mit der Axe verlaufende Compensationsstreifen (s. oben S. 186 ff.) in dem Stammcylinder vertheilt, sondern verlaufen schon der Anlage nach in Spirallinien oder in hie und da von der geometrischen Axe abweichenden Richtungen.

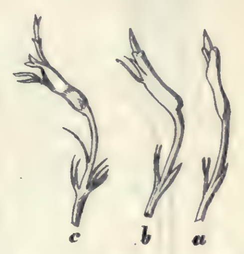


Fig. 281. Reihe von Blüthen in verschiedener Phase der Krümmung von *a* der geringsten bis *c* der stärksten Krümmung. (Vergl. Fig. 282).

A. Drehung der Stämme um ihre Axe.

Viele Sträucher und Halbsträucher drehen an horizontalen Zweigen, während die Blattknospen sich entwickeln, die Internodien so lange, bis die sämmtlichen Blätter nach $^1/_2$ oder doch in zwei Längsreihen geordnet stehen[3]).

Diese Drehung schreitet mit der Entfaltung von dem älteren nach dem jüngeren Blatte gleichsinnig fort. Als Studienobject möge ein horizontal wachsender Zweig des Polygonum tataricum, Fig. 283, gewählt sein, 0 das älteste, 4 das jüngere der nach $^2/_5$ (näherungsweise) stehenden Blätter. Von dem äußersten Kreis p nach p^I und p^{II} soll die Drehung dargestellt sein. In p^I ist 0 und 1 im Horizont, in p^{II} haben sich 3 und 4 bis auf $^1/_5$ des Stammumfanges dem Horizont genähert, in p^{IV} stehen alle in 2 Längszeilen.

Bei den Decussirten muß von Wirtel zu Wirtel eine $^1/_4$ Drehung

---

1) Pfeffer a. a. O. S. 97 ff.

2) Darwin, Die Bewegung und Lebensweise der kletternden Pflanzen. J. Carus. Stuttgart. Schweizerbart. 1876. — v. Mohl, Ueber Bau und Winden der Schlingpflanzen. 1827. — L. H. Palm, Ueber das Winden der Pflanzen. — de Vries, Arbeiten des bot. Instituts in Würzburg. 3. Heft. — Dutrochet, *Des mouvements révolutives de spontané. Compt. rend. T. XVII. XIX.*

3) Studienobjecte: Spiræa ulmifolia. Polygonum tataricum. Lonicera cœrulea u. a. Philadelphus. Deutzia.

des Stammumfanges beſchrieben werden. Hiebei wird aber von einem zum andern Internodium die Richtung umgekehrt. Möge Wirtel 1 mit ſeiner Mediane horizontal ſtehen, ſo dreht ſich das Internodium von 1 nach W_2 links, das von W_2 nach W_3 rechts, je um $^1/_4$ $(2\ \pi)$, wie das Schema, Fig. 284, dieß veranſchaulicht. Möge wieder *p* der Knoſpenzuſtand ſein an einem horizontalen Zweige, ſo ſtehen im Horizont die Blätter der Wirtel 1, 3, 5, die nach links mit *l*, die nach rechts mit *r* bezeichnet ſind; im Loth ſtehen die Medianen der Wirtel 2, 4, 6, die nach oben mit *o*, die nach unten mit *u* bezeichnet, Fig. 284. Nach der erſten Drehung um $^1/_4$ des Stammumfangs in Richtung des Pfeiles ſtehen in p'' nunmehr im Horizont 1 *l*, 2, 4, 6 von der unteren Seite auf links und 1 *r* und 2, 4, 6 von der oberen Seite auf rechts. 1 *l*, 2 *u* und 1 *r*, 2 *o* bleiben ſtabil, alle andern aber drehen ſich mit dem Pfeil β u. ſ. f., ſo daß, wenn alle Wirtel im Horizont untergebracht ſind, die Vertheilung iſt:

links: 1 *l*, 2 *u*, 3 *l*, 4 *u*, 5 *l*, 6 *u*,
rechts: 1 *r*, 2 *o*, 3 *r*, 4 *o*, 5 *r*, 6 *o*.

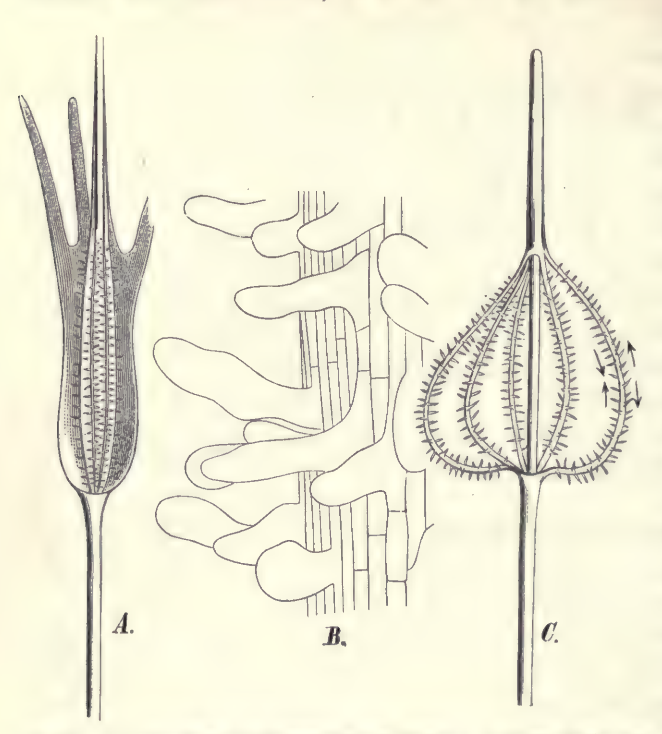


Fig. 282. *A.* Anfangslage der Filamente vor der Reizung. *B.* Kleine Parthie des mit Papillen verſehenen Filamentes. *C.* Krümmung der Staubfäden der Cynareen (Centaurea) durch den Reiz der Berührung (nach Unger).

B. Rotirende und ſchraubenlinige Bewegungen.

Es ſind hier im Weſen der Sache, wenn man von ſolchen Kletterpflanzen abſieht, welche mit Wurzeln ſich an die Unterlage befeſtigen (Epheu) oder mit Haaren ſich feſthalten (Hopfen und Galium Aparine), drei Bewegungsformen zu beſchreiben, welche indeß an einem und demſelben Pflanzentheil gleichzeitig vorkommen können.

a) Stämme und Wurzeln.

1⁰ Die Stämme und Wurzeln regellos ausgeſäter Keimpflanzen krümmen ſich geotropiſch ohne feſtzuwachſen. Der Keimling fällt um, ſo, daß der ſchwerſte Theil wieder nach unten zu liegen kommt. Die Krümmungen erfolgen von Neuem entſprechend der neuen Lage, die jungen Organe beſchreiben mannigfache und regelloſe Curven.

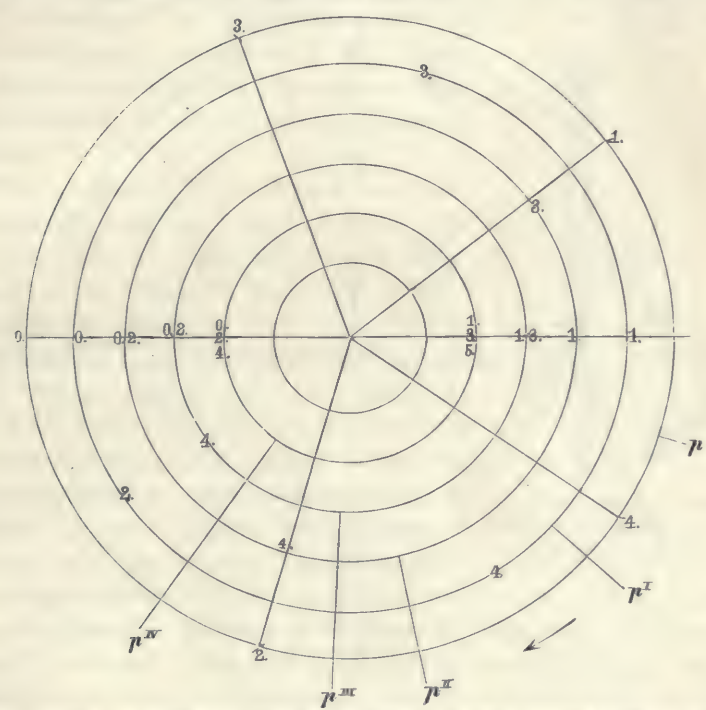


Fig. 283. Schema der Drehung der Blattſtiele oder Interfolien an einem horizontal ſtehenden Zweige von Polygonum tataricum.

2⁰ Die feſtgewurzelte Pflanze beſchreibt mit der Stammſpitze rotirende Bewegungen. Die Axe beſchreibt eine Kegelfläche, welche das Loth als Axe aufnimmt.

Humulus.
Convolvulus.
Ranken der Papilionaceen.

3⁰ Die Axe der feſtgewurzelten Pflanze dreht ſich um ſich ſelbſt.

Hopfen, Convolvulus.

b) Ranken der Stämme und Blätter, metamorphe Gebilde.

4⁰ Die Axe rollt ſich zur Spirale oder Schraube ein.

Vitis.
Pisum. Smilax.

Bryonia.
Bignonia.

5[0] Die Axe umkreiſt eine Stütze ſchraubenlinig.
Humulus.
Convolvulus.
Ranken von Vitis, Cucurbita, Bryonia, Paſſiflora.

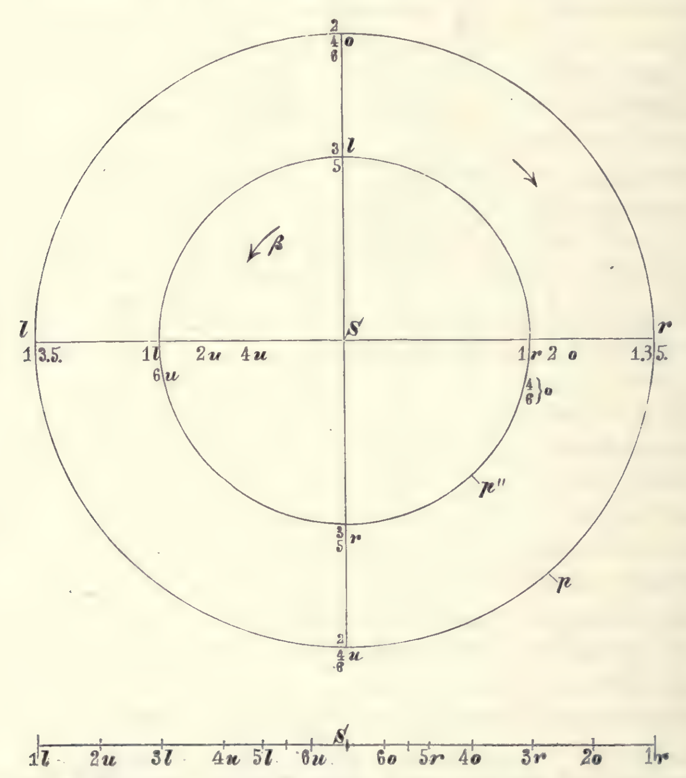


Fig. 284. Schema der Drehung der Internodien bei horizontal ſtehenden Zweigen der Decuſſirten (Philadelphus Deutzia).

Es muß am Eingang dieſer Betrachtungen im Auge behalten werden:

1[0] daß in allen hier in Frage kommenden Pflanzen die Spannung der Gewebe ſchon in der Anlage nicht abſolut ſymmetriſch um die geometriſche Axe vertheilt, ſondern ſo, daß eine Torſion ſchon in der anatomiſchen Beſchaffenheit begründet iſt;

2[0] auch in einer ſehr großen Anzahl von ſaftigen Schößlingen, ja man wird bei fortgeſetzter Prüfung des Gegenſtandes zu dem Reſultat kommen: bei allen nicht raſch verholzenden Pflanzen, iſt die Gewebeſpannung ſo vertheilt, daß bei einem Zug oder Anſtoß an einen geradlinig gewachſenen Pflanzentheil eine Krümmung eintritt.

Auch eine Reihe ſehr feiner Anſtöße[1]), welche den Sproß um eine minimale Größe ſtets im gleichen Sinne beugen, bewirkt nach einiger Zeit eine viel beträchtlichere Krümmung, wie der jedesmal in Folge eines einzelnen kleinen Anſtoßes bewirkte Ausſchlag des Sproſſes von der urſprünglichen geraden Lage, Fig. 285.

Dieſe Krümmung kann auch gegenſinnig zu derjenigen Richtung erfolgen, in welcher der Sproß angeſtoßen wurde. Der Sproß, Fig. 285, kann in Richtung des Pfeiles α eine Reihe feiner Anſtöße erfahren haben und ſich in Folge davon trotzdem in Richtung des Pfeiles β krümmen.



Fig. 285. Verkehrt ſtehender ſaftiger Sproß bei *A* feſtgeklammert und in Richtung des Pfeiles α leiſe gezerrt.

Die jüngſten Theile der Cuscuten-, Convolvuluspflanzen u. a. m. ſind nicht windend (wie bei der Mehrzahl der Schlingpflanzen). Der Stamm iſt gracil und vermag ſeine eigene Laſt nicht zu tragen. Er wächſt, ſtrebt die Spitze zu heben, ſinkt wieder, bis er eine Stütze erreicht hat, um welche er nun wachſend, linksumläufige (Convolvulus) oder rechtsumläufige (Humulus) Schraubenbewegungen ausführt. Von dem Momente, wo die Spitze die Stütze berührt, verhält ſich das nun hinzuwachſende Stück wie eine Ranke.

Es legt ſich die linke Kante bei linkswindenden und die rechte Kante bei rechtswindenden Pflanzen der Stütze an, Fig. 286. Auf dem Wege *a b* mag die Winde gelegentlich jene Drehungen um ihre eigene Axe ausführen. Ein ſtrenges Erforderniß für die Umſchlingung der Stütze iſt dieß nicht[2]).

Die Beſtrahlung, ſowie Licht- und Temperaturwechſel ſind ohne directen Einfluß und ohne urſächliche Wirkung für das Zuſtandekommen der Bewegung. Auch die anatomiſche (iſt zu ſagen die hiſtologiſche) Beſchaffenheit iſt nicht weſentlich von Einfluß. In vielen Gattungen befinden ſich windende und nicht windende Arten[3]). Somit iſt das Winden und Schlingen eine Gewohnheit, welche auch gelegentlich verſtärkt oder geſchwächt auftreten kann, je nach den Umſtänden, welche der Kampf um das bewohnte Areal mit ſich bringt.

---

[1]) Das Fundamentalexperiment für dieſe Studien iſt von Hofmeister zuerſt angeſtellt.

[2]) Darwin, Bewegung und Lebensweiſe der Kletterpflanzen. Carus. Stuttgart. Schweizerbart. 1876.

[3]) Hieracien. Cynanchum. Die Farrnkräuter ſind faſt alle in dieſer Hinſicht ſtabil mit Ausnahme des Lygodium.

Verdunkelung ſteigert neben der Ueberverlängerung der Stämme in Folge des partiären Etiolements die Neigung derſelben, zunächſt die Axe zu tordiren, ſodann aber auch das Schlingen und Winden bei den Papilionaceen (Vicia Faba, Pisum). Die windenden Stämme (Humulus, Caliſtegia, Convolvulus, Cuscuta) ſind nicht reizbar durch die Berührung, wie es die Ranken ſind.

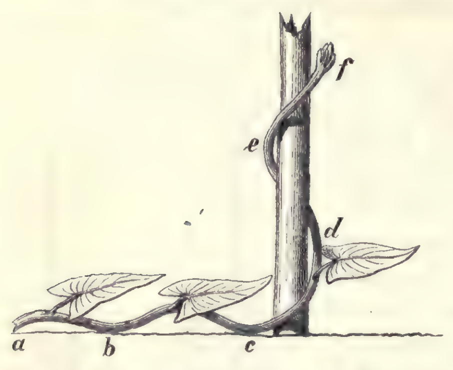


Fig. 286. Schema der Schlingbewegung der Winde (Convolvulus Caliſtegia).

Die metamorphen Stammranken der Cucurbitaceen, Bryonia, Cucurbita, der Ampelideen, Vitis, Ampelopſis, Fig. 287, die Blattranken von Pisum, Vicia, Bignonia capreolata, Smilax und ſelbſt die Blattſtiele von Clematis, wachſen zunächſt aus der erzeugenden Blätterknoſpe geradlinig. Sie krümmen ſich an der Spitze oder ſie rollen ſich ein bis zu mehreren Schraubenumläufen. Wird die Ranke der Paſſiflora, Fig. 288 (eine der empfindlichſten) im Zuſtande *a* durch Berührung mit dem Finger oder durch Anlegen dicker Stäbe oder ſelbſt ganz feiner Gold-, Platin-, oder Coconfäden gereizt, ſo geht ſie in den Zuſtand *b* über. Die Krümmung wird geſteigert. Hört der Reiz auf, ſo geht die Spitze nach einigen Stunden wieder mehr oder weniger vollſtändig in die alte Lage zurück.

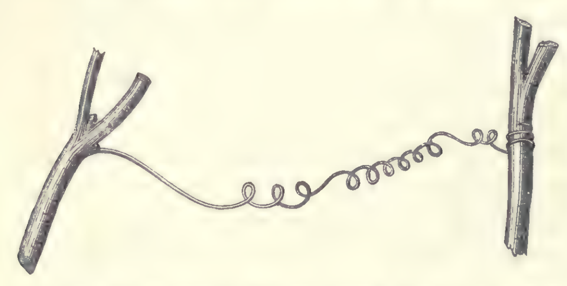


Fig. 287. Eine angeheftete Ranke von Bryonia dioica, in entgegengeſetzten Richtungen ſpiral zuſammengezogen (Darwin, S. 127).

H. v. Mohl gründete, nachdem er gezeigt, daß die Temperatur und ſonſtige Beſchaffenheit der Stütze ohne Einfluß auf den weiteren Verlauf der Umſchlingung ſei, dieſe Theorie: bei der Berührung der Stütze wird die Ranke an einem gegebenen Punkte gereizt, wie in Fig. 288 dargeſtellt, ſie krümmt ſich gegen die Stütze, und es kommen dabei immer jüngere Theile in Berührung mit derſelben, ſo bringt eine continuirliche, träge verlaufende Reizbewegung die Schraubenlinie zu Stande.

Die ſchraubenlinige Einrollung tritt aber auch ein ohne eine Berührung. Die Ranken der Bryonia und der Paſſiflora rollen ſich zur Schraube, ehe ſie noch die Stütze berührt haben.

Bei ſolcher Drehung, welche an nicht rankenden, wohl aber in ganz

ſteiler Schraubenlinie an gewundenen Organen anderweit beobachtet wird, iſt es wahrſcheinlich die einſeitige Erſchlaffung der negativ geſpannten Gewebe in Folge der Schwankungen durch den Wind, welche die erſte Krümmung veranlaßt. Die Krümmung, welche zuerſt auftritt in den Ranken der tordirten Stämme und im Experiment, Fig. 285 und Fig. 288, kann offenbar dadurch hervorgerufen ſein, daß in der convexen Seite die Expanſion der poſitiv geſpannten Gewebe größer wird wie in der concaven Seite. Sie kann aber auch darin beruhen, daß die Dehnbarkeit der negativ geſpannten in der convexen Seite zunimmt, gegenüber der concav werdenden, während die Spannkraft in dem Moment, wo die Krümmung ſoeben beginnt, für die beiden Seiten in dem poſitiv geſpannten Gewebe gleich groß iſt. Die Krümmung tritt unter der zweiten Vorausſetzung jetzt ein, dadurch, daß in der convexen Seite Spannkraft in actuelle Energie ausgelöſt wird. Kaum wird ſich experimentell entſcheiden laſſen, ob das Eine oder Andere der Fall iſt. Mit großer Vorſicht darf vielleicht dieſer von HOFMEISTER angeſtellte Verſuch als Ausgangspunkt für die Unterſuchung gewählt werden:



FIG. 288. Schema der Bewegung einer empfindlichen Paſſiflorenranke, bei *a* mit einer Borſte gereizt.

Die flachen Alliumblätter ſind um einen (oder wenig mehr) Schraubenumgang tordirt. Schält man die negativ geſpannte Epidermis ab und legt das Blatt in Waſſer, ſo wächſt die Anzahl der Schraubenumgänge, das Blatt vermehrt ſeine Torſion. Hiebei iſt freilich nach dem Verſuch (über die Gewebeſpannung, ſ. oben S. 186) die Geſammtſpannkraft durch Waſſerzufuhr (Quellung) in den poſitiven Geweben geſteigert. Die Ausdehnung in der zur Axe geneigten Richtung aber zeigt doch, daß in dem Gewebe vorher ſchon die Anziehung für Waſſer in der vorgeſchriebenen Richtung bereits vorhanden war.

---

§ 30. Nutation.

Ausgehend von dem Experiment (S. 295 Fig. 285) hat man noch die von DUTROCHET und DARWIN, ſpäter von HOFMEISTER u. A. beobachteten Erſcheinungen der nutirenden Bewegungen zu unterſuchen. Was die Bewegungsform angeht, ſo fällt ſie mit derjenigen Drehung der Spitze in Kreislinien zuſammen, bei welcher die Torſion des Stammes ausgeſchloſſen

iſt oder wo doch das n-malige Beſchreiben der Kegelfläche nicht der n-maligen Torſion der Axe um den ganzen Kreisumfang entſpricht.

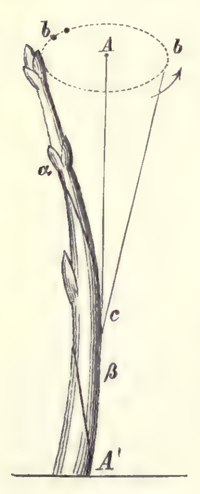


Fig. 289. Rotirende Nutation des Hopfens.

Der Hopfen, eine ſchlingende Pflanze, Fig. 289, dreht ſeine Spitze in einer Kegelfläche und beſchreibt dabei 37 Umläufe derſelben, ehe er 2 bis 3 Mal ſich um ſeinen Querſchnitt tordirt. Die Torſion und die Drehung um jene Kegelfläche ſind ſomit nicht in directem Cauſalnexus.

Darwin[1]) benutzte, um die nutirende Bewegung zu ſtudiren, ein auf der Innenſeite berußtes Uhrglas, dasſelbe war ſo gewählt, daß der nutirende Pflanzentheil den Radius dieſes Kugelabſchnittes bildete. Das Uhrglas wurde an einem Stativ über der Erbſenpflanze befeſtigt, ſo, daß die Spitze ſoeben die Rußſchichte berührte und im Verlauf der Bewegung den Ruß von dem Glas abſtreifte.

Das nutirende Ende geht von *1* nach 2, Fig. 290, Vormittags in zwei Stunden und bewegt ſich dabei gegen das Fenſter, alſo im poſitiv-heliotropiſchen Sinne. Alle ſpäteren in Bezug auf den Lichtquell rückläufigen Bahnſtrecken erfordern längere Zeit[2]).

Von	2	nach	6 =	4	Stunden	30	Minuten	während der Mittagszeit,
»	6	»	8 =	1	»	30	»	am Nachmittag,
»	8	»	11 =	1	»	30	»	» »
»	4	»	14 =	2	»	5	»	» »
»	15	»	17 =	0	»	45	»	gegen Abend 7 Uhr,
»	17	»	19 =	1	»	10	»	
»	19	»	20 =	0	»	45	»	
»	20	»	22 =	1	»	30	»	bis 9 Uhr Abends.

Die Bewegung wird ſichtlich im Allgemeinen mit dem Sinken der Lichtintenſität langſamer.

§ 31. Bewegung in Folge verschiedener Austrocknung der Gewebe.

Hieher ſind alle Spannkräfte zu rechnen, welche frei werden, wenn zwei aneinander grenzende Gewebeſchichten durch Austrocknung ſich un-

[1]) Darwin a. a. O. S. 2 ff.

[2]) Darwin a. a. O. S. 86 ff.

gleich zuſammenziehen. Man wird auch die Springfrüchte der Impatiens noli me tangere hieher zählen dürfen.

A. Saftige Springfrüchte.

Die Frucht der Impatiens hat in ſich ein hohes Maſs von Spannung in der Weiſe angehäuft, daſs die fünf Klappen, in welche ſie bei der Berührung mit einer Exploſion zerfällt, ſich mit der Auſsenſeite concav zu krümmen beſtrebt ſind. Dieſem Streben wird endlich ein immer geringerer Widerſtand in den fünf Berührungslinien und dem Hautgewebe entgegengeſetzt, ſo daſs ſchlieſslich der allergeringſte Stoſs die Exploſion bewirkt, der in der Innenſeite belegene Schwellkörper wird convex und krümmt ſich im Spiral bis zu mehreren Umläufen. Der negativ geſpannte Theil beſteht aus den nicht ſehr ſtark ausgebildeten Gefäſsbündeln und dem Hautgewebe.

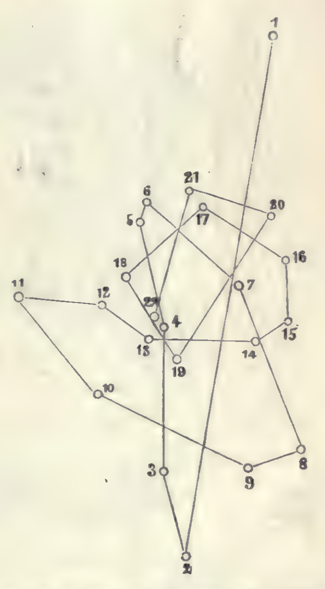


Fig. 290. Seite des Zimmers mit Fenſter. Schema, welches die Bewegung des oberen Internodiums der gemeinen Erbſe zeigt, auf einem halbkugligen Glaſe aufgezeichnet und auf Papier übertragen; um die Hälfte verkleinert, nach Darwin.

B. Trockene Springfrüchte.

Alle Spaltkapſeln gehören hieher. Die Früchte trocknen in den Richtungen ſenkrecht zur Spaltfläche ſtärker ein, wie in allen anderen. Es häuft ſich die Spannkraft, bis es zum Zerreiſsen kommt. Bei den Euphorbienkapſeln geſchieht dieſs mit Exploſion, ſo namentlich bei den ſtark verholzten Früchten der Hura crepitans. Unſere gröſseren ſumpfbewohnenden Euphorbien ſchleudern ihre Spaltkapſeln mehrere Meter weit hinweg.

C. Fruchtklappen der Leguminosen.

Das einzige Carpellblatt zerfällt bei der Reife in zwei kahnförmige Hülſen, in welchen das Endocarp trockenhäutig und in zur Längsaxe ſchiefer Richtung ſpaltbar iſt, in dieſer Richtung rollt ſich die Hülſe mit convexer Auſsenſeite in eine ſteile Schraube beim Trocknen. Waſſerzufuhr hebt die Krümmung zum Theil wieder auf.

Die Leguminoſenfrucht iſt bei manchen Gattungen wie bekannt auch eine Spaltfrucht, welche in Glieder zerfällt (Coronilla).

D. Zapfen der Abietineen.

Die Schuppe ſteht im geſchloſſenen Zapfen aufrecht, mit verſchmälter Baſis, der Axe des Zapfens eingefügt. Beim Austrocknen krümmt ſie ſich in der Nähe der Einfügungsſtelle, ſo, daß dort ein Theil der innern Gewebe ſich dehnt, während ſich die äußern zuſammenziehen. Die Schuppe geräth in die Lage Fig. 291 *C*, welche beim Wiederbenetzen nur wenig

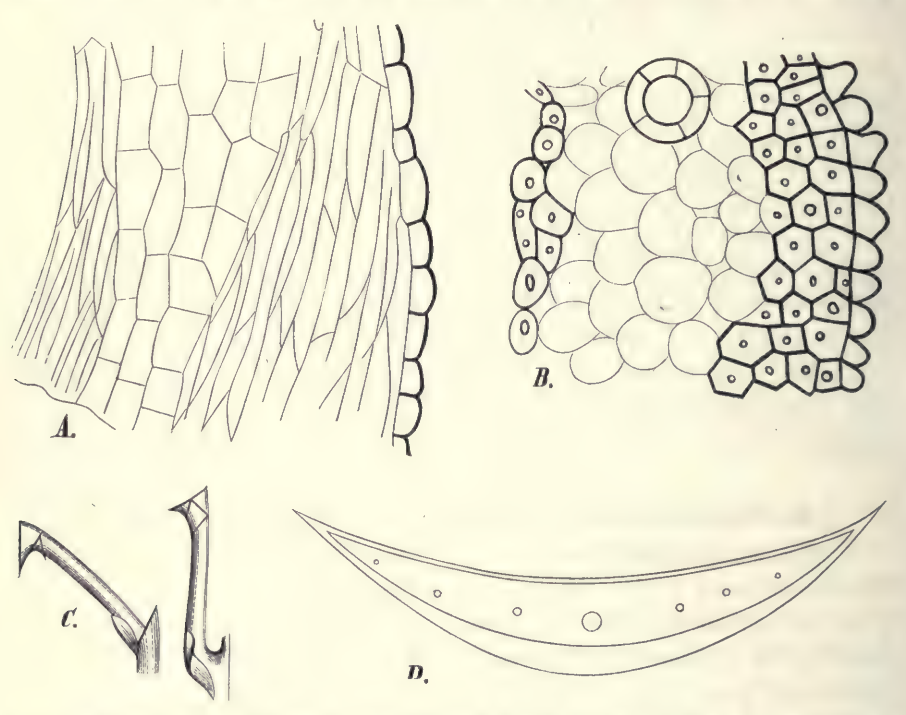


Fig. 291. Kiefernſchuppe des Zapfens. *A.* Längsſchnitt durch die Baſis derſelben. *B.* Querſchnittsparthie. *C.* Lage der Schuppe im Längsdurchſchnitt, links im trockenen, rechts im geſchloſſenen Zuſtande des Zapfens. *D.* Querſchnitt der Schuppe ſchematiſch.

verändert wird. Die anatomiſche Structur der Schuppe zeigt bei der Kiefer, Fig. 291 *A B D,* die Innenſeite mit einer einzigen Zellenſchicht ſtark verdickter Faſerzellen (Sklerenchym), die Außenſeite aber mit einer gleichen Schicht, welche im oberen Theil aus 3—4, unten nahe der Einfügungsſtelle aber aus zahlreichen Zellenlagen beſteht. Das Grundgewebe iſt porös, dünnwandig, luftführend, von geringem Expanſionsſtreben, 5—7 Gefäßbündel ſind in eine Reihe ſymmetriſch um die Mediane vertheilt.

Jedenfalls iſt es die ſtärkere Contraction der Sklerenchymzellen der Außenſeite, welche die Zapfenſchuppe beim Austrocknen in die neue Lage zwingt. In den Samendarren werden die Zapfen bis 30° C. raſch erwärmt, die Außenſeite zieht ſich dabei raſch ſtärker zuſammen, der Zapfen öffnet

ſich. Zu beachten iſt indeß hiebei, daß die Schuppe in ihrer ganzen Ausdehnung nicht weſentlich deformirt, ſondern nahe an ihrem Einfügungspunkte gebeugt wird.

E. Geraniumfrüchte (Moosseten, Granne).

Dieſe Gebilde ſind hygroſkopiſch, krümmen ſich bei niederem Waſſergehalt im Spiral oder in Schraubenlinien, im naſſen Zuſtand rollen ſie dieſe wieder auf. Sie ſtrecken ſich. Soweit die Vorgänge der urſprünglichen Anlegung und des Wachsthums hier in Betracht kommen, muß beachtet werden, daß:

a) die Geraniumfrüchte ſind Schizocarpe, an welchen jedenfalls die Außenſeite anatomiſch verſchieden beſchaffen und verſchieden elaſtiſch iſt gegenüber der Innenſeite, welche der Commiſſuralfläche entſpricht;

b) die Granne und die Moosſeten dagegen ſind frei erwachſen, die anatomiſche Anordnung der poſitiv und negativ geſpannten Gewebeſtreifen, welche die Bewegung bewirken, iſt nicht bekannt.

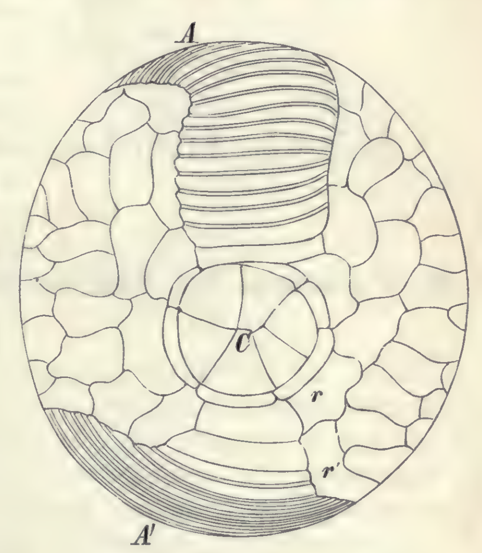


Fig. 292. Farrnſporangium, nach Kny.

F. Bewegung in elastischen Zellen begründet.

a) Die Streifen aus der Zellhaut der Spiralmutterzelle (ſ. oben S. 57 u. 77) der Equiſeten ſind urſprünglich in einer Kugelfläche differenzirt, ſie krümmen ſich im Spiral beim Trocknen und werden gerade bei der Benetzung.

b) Die Spiralzellen der Lebermooſe ſind cylindriſch oder ſpindelförmig auf der Innenſeite der Wand mit zwei oder drei ſpiralig geordneten Verdickungsbändern verſehen, ſie drehen ſich korkzieherartig beim Trocknen, ſtrecken ſich gerade, wenn ſie naß werden.

Beide, *a* und *b*, lockern in den geöffneten Kapſeln beim Austrocknen das Sporenpulver.

c) Elaſtiſche Zellenringe und Zellenmäntel finden ſich differenzirt in den Sporangien der Farrnkräuter, Fig. 292 *A A'* und an den Antheren. Sie ſind ſtärker verdickt, gerathen in Spannung, zerreißen ſchließlich beim Austrocknen die angrenzenden dünnwandigen und weniger feſten Gewebe-

parthieen. Der Ring im Sporangium der Farrnkräuter erſtreckt ſich in dem Meridian *A A'* der Kugel vom Einfügungspunkt des Sporangium in *C*. Zwiſchen dieſem und dem anderen Ende des elaſtiſchen Ringes iſt eine kleine Gewebeparthie weniger verdickt *r r'*, dort reißt das Sporangium zuerſt, wenn zur Zeit der Sporenreife der Ring ſich in ein flaches Band zu beugen beſtrebt iſt (ſ. Morphol., Syſtematik der Farrnkräuter).

Siebente Abtheilung: Grobe Anatomie.

§ 32. Wachsthum und Theilung unter dem Vegetationspunkt.

Indem ich die Theilungsvorgänge des Vegetationspunktes als die ſchwierigſte Darſtellung der vergleichenden Morphologie vorbehalte, ſtelle ich mir hier die Aufgabe, von dem jüngſten Urſprung der Gefäßbündel in der Baumknoſpe, die anatomiſchen Verhältniſſe entwickelungsgeſchichtlich ſo darzuſtellen, daß ſie als eine Bewegung in der Zeit erſcheinen.

Die vergleichende Anatomie der fertigen Pflanzenorgane habe ich in die Syſtematik verlegt. Dort mag der Zuſtand der ausgewachſenen Stämme, Wurzeln, Blätter mit als Arten-, Gattungs- oder Familiencharakter abgehandelt werden.

Soweit aber die allgemein gültigen Züge in dem anatomiſchen Bau zum Verſtändniß der Lebenserſcheinungen in Betracht kommen, habe ich ſie ſchon in früheren Paragraphen berückſichtigt und mögen ſie hier insbeſondere für den Baum weiter abgehandelt werden.

A. Geometrische Aufgabe.

a) Volumvermehrung der verſchiedenen Zellen.

1⁰ Die mikroſkopiſche Beobachtung von Organen, welche in der Entwickelung begriffen ſind, zeigt uns nach § 21, daß nach dem jüngſten Orte hin das Volum der Zellen ſinkt. Die Verſchiedenheit der Zellen-Elemente eines Gewebes entſteht dadurch, daß von der jüngſten Zelle oder dem jüngſten Zellencomplexe ungleich geſtaltete Tochterzellen gebildet, abgetheilt werden. Wir erhalten hier ſchon eine Differenzirung in Zellen von ungleichem Volum und ungleicher Umgebung: Die Begrenzungszellen einer-

ſeits werden durch die Lage nach dem umgebenden Medium einerſeits, nach den Binnenzellen andererſeits von letzteren geſtaltlich abweichen müſſen.

2⁰ Nach § 22 iſt ein zweites Moment der Differenzirung das ungleiche Wachsthum, während des Ueberganges vom jüngſten nach dem älteſten Zuſtand.

3⁰ Die Zellenabkömmlinge eines gegebenen Organes beſitzen im ausgewachſenen Zuſtande desſelben ungleiche Function, in Bezug auf die Translocation.

So durchläuft an einem gegebenen Zweige von Populus angulata, Fig. 293, der Querſchnitt die verzeichnete Configuration; *A* der jüngſte Zuſtand, *B* der mittlere, *C* der älteſte, und es iſt zu beachten, daß das obere Querſchnittselement des prismatiſchen Körpers in einem etwas ſpäteren Zeitpunkt nach *B*, *B* nach *C* übergeht, d. h. der Zuſtand *C* rückt an dem in der Entwickelung befindlichen Stamm von unten nach oben fort.

Hiebei gehen[1]) die Veränderungen vor ſich, welche bei den Betrachtungen über das Wachsthum der Membran beſprochen wurden. In den Orten *b*



Fig. 293. Populus angulata. Schema der Zweigquerſchnitte. Im oberſten Querſchnitt ſind die primären Gefäßbündel ſoeben differenzirt, es iſt der Knoſpenzuſtand in Fig. 294 *B* ſtärker vergrößert. Die zweite Fig. *B* nach dem Aufbrechen der Knoſpe in mittlerer Region, *K K'* Korkleiſten in Fig. 297 im aufgerollten Cylinder dargeſtellt. Ein Gefäßbündel iſt in Fig. 294 *A* ſtärker vergrößert. *C* Zuſtand desſelben Zweiges nachdem der Cambiumring geſchloſſen iſt, in Fig. 295 iſt eine Kantenparthie ſtärker vergrößert.

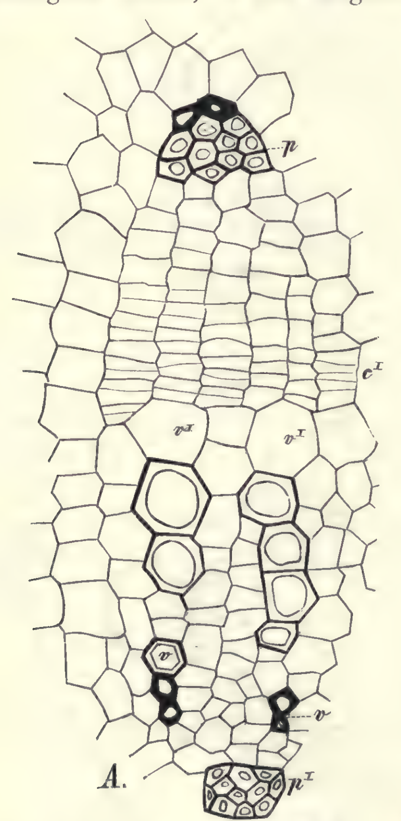
---

[1]) Dr. C. Sanio, vergl. Unterſuchungen über die Zuſammenſetzung des Holzkörpers. Bot. Ztg. 63. Unterſuchungen über die Elementarorgane des Holzkörpers. Bot. Ztg. 63. — A. B. Frank, Ein Beitrag zur Kenntniß der Gefäßbündel. Bot. Ztg. 64. — Dr. C. Sanio, Ueber endogene Gefäßbündelbildung. Bot. Ztg. 64.

v, Fig. 294, verdicken ſich beſtimmte Zellen. Es ſind die Elemente des Gefäßbündels. In dieſem liegen die Gefäße, Tracheïden, die Holzzellen, die Baſtzellen, die Leit- oder Gitterzellen.

b) Längsſtreckung gleich bei ungleicher Theilung (Curve ſ. früher S. 172).

Die Entſtehung längerer Zellen neben kürzeren in einem und demſelben Niveau, aus einem Gewebe, in welchem alle Elemente urſprünglich gleichgroß waren, iſt nur möglich, wenn während dieſer Differenzirung das betreffende Organ noch wächſt. Man denke ſich in dem Niveau der gleichgroßen Zellen, Fig. 189, zwei gleiche Zellen und laſſe die Wachsthumsfunction in der Zeit fortfließen, ſo wachſen beide, die eine aber erreicht ohne ſich zu theilen die Geſtalt einer Röhre oder prismatiſchen Faſer, ſie wird zu einem Element des Gefäßbündels, die andere theilt ſich in dem Maße wie ſie wächſt, ſie wird zu einem Element des Grundgewebes.



c) Ungleiche Querausdehnung (ſ. S. 185).

Die vorſtehend beſprochene Differenzirung geht ſtets ſo vor ſich, daß

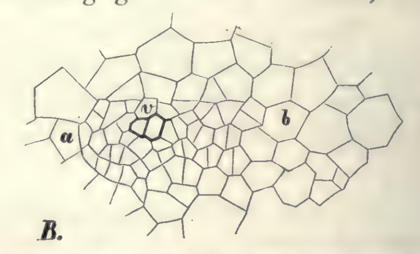


Fig. 294. *A.* Aelterer Zuſtand, das Gefäßbündel hat Radialketten *v* von Tracheïden gebildet, c^1 Cambium, *p* primäres Baſtbündel, *p'* das Gefäßbündel der Niederblätter, an *p'* grenzt das Mark, an *p* die Rinde (vergl. Fig. 293). *B.* Querſchnitt eines Cambialſtreifens, vergl. Fig. 293, *a* Mark, *b* Rindengrenze, *v* die erſten verdickten Gefäßelemente, Tracheïden umgeben von Cambiumzellen, welche in der Theilung begriffen ſind.

in dem jugendlichen Organ während des Ueberganges, Fig. 293, und der Streckung nach der Wachsthumscurve, Fig. 176, ſich Theilungen durch Längswände vollziehen. So entſteht für den Querſchnitt der kleinzellige Gewebecomplex, Fig. 294 *B*, in welchem *v* ein erſtes primäres Gefäßelement (eine Tracheïde) darſtellt. Die theilungsfähige Gewebegruppe mag

das Procambium des Fibrovafalftranges genannt werden. Aus folchen Zellen differenziren fich die fpäter auftretenden Elemente des Gefäßbündels.

d) Ungleiches Dickenwachsthum der Membranen.

Entstehung von continuirlichen Porenbahnen.

Die Gewebegruppe, Fig. 294, zerfällt in Zellen, welche ihre Wand verdicken und ihren Plasmakörper verbrauchen, die Holz- und Gefäßzellen, Tra-

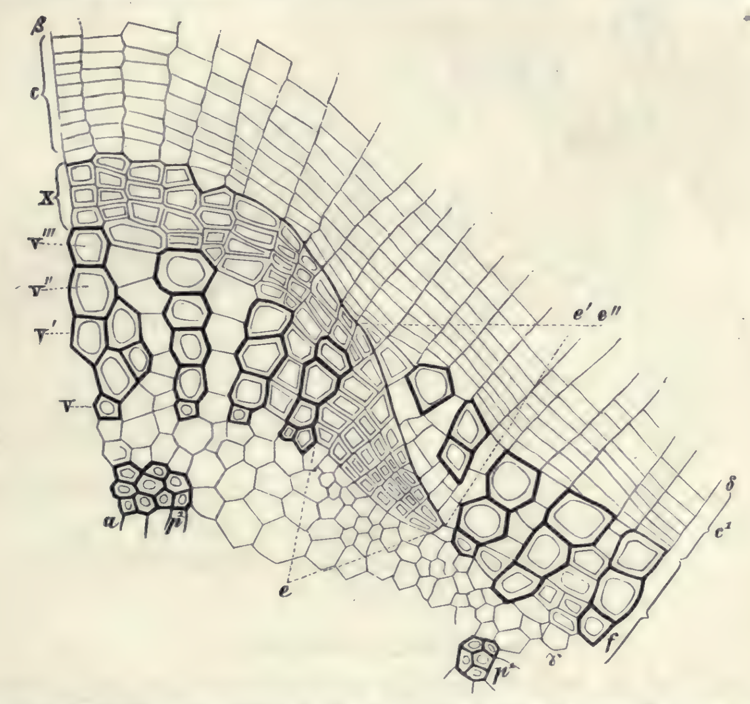


Fig. 295. Populus angulata. Querfchnittsparthie des Zweiges kurz nachdem die Bildung des erften Jahrringes beginnt (Mitte Juni), vergl. Fig. 293, 294. Diefe Parthie liegt zwifchen $\alpha\ \beta\ \gamma\ \delta$ in der Figur 293 *C*. Die Radialketten von Holzzellen, welche in $e\ e'\ e''$ durch punktirte Linien eingefchloffen find, differenziren fich zuerft, fo bildet fich das Kantenbündel (Fig. 293) zuerft aus, $v\ v'$ die Tracheïden des primären Theiles, $c\ c'$ der Cambiumring, $p'\ p'$ die Spuren der Niederblätter.

cheïden und in dauernd thätige Zelldefcendenten, die Cambiumzellen. In den erfteren treten mannigfache Verdickungen, fowie auch Reforptionen gewiffer Theile der Membran ein, fo daß in ihrem Verlauf continuirliche Strombahnen für tropfbare und gasförmige Flüffigkeiten möglich werden.

Hier ift aber zu beachten, daß die Porendurchgänge im Holz der Dicotylenpflanzen wirklich unter geringem Drucke am Manometer Waffer transpiriren laffen. Die Nadelholzzelle aber verhält fich anders. Th. Hartig injicirte die Zweighölzer der Kiefer mit einer Flüffigkeit, in welcher Farbetheilchen fufpendirt find (Carmin, Zinnober, Chinefifche Tufche). Diefe

werden in geringer Tiefe zurückgehalten, gelangen nur in die angeſchnittenen Zellen, welche an die Schnittfläche grenzen, an welcher die Flüſſigkeit injicirt wird und bis in die Tüpfelräume, gehen aber nicht durch den Porencanal des Tüpfels, Fig. 297. Es folgt aus dieſen Verſuchen, welche ich wiederholt und in den von HARTIG angegebenen Reſultaten beſtätigt ge-

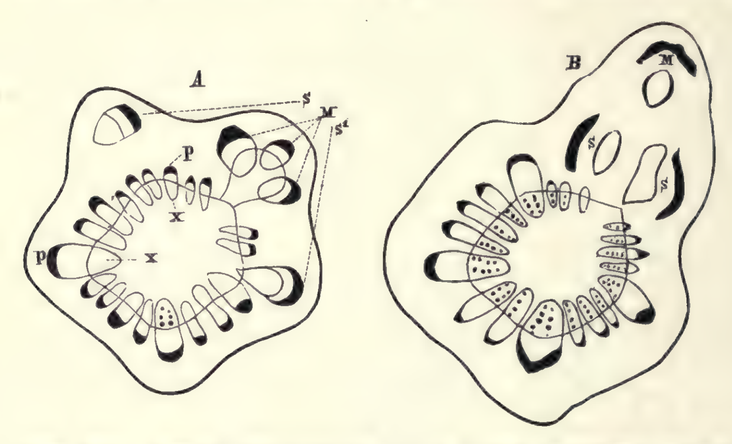


FIG. 296. Quercus Robur. Schema des Zweigquerſchnittes *A* nahe unterhalb der Einfügung des Blattes, *M* das mediane, *s s'* die beiden ſeitlichen Gefäßbündel, welche in das Blatt eintreten, *x* der Holz-, *p* der Baſttheil der Gefäßbündel. *B* ähnlicher Schnitt in der Einfügungsſtelle des Blattes. Die Anordnung *A* iſt in der Kante *M s s* verändert, dadurch, daß *M s s* nun aus dem Zweigquerſchnitt nach der Blattbaſis, dem Blattkiſſen divergiren.

funden habe, daß die ſogenannte primäre Membran als Schließhaut dem Tüpfelraum nach einer der kleinen Poren zu verbleibt, eine Communication als Transfuſion verhindert und nur die Membranfiltration geſtattet.

B. Zellengenerationen.

Da in der ganzen Reihe des hier zu Grunde gelegten Studienmaterials, Fig. 293 *A B C*, 294, 295, nirgends eine Reſorption ganzer Zellen vorkommt, und die durch die genannten Figuren demonſtrirte Evolution durch ſtetige Wachsthums- und Theilungsvorgänge herbeigeführt wird, ſo muß es auch möglich ſein, zwiſchen Fig. 293 *A* und Fig. 293 *C* alle Zellengenerationen aufzufinden. Wir nennen in einer Reihe von unendlich vielen, oder doch ſehr zahlreichen, durch Theilung entſtandenen Zellen «eine Generation» den Zuſtand einer Zelle zwiſchen dem erſten Theilungsvorgang, welcher ihr ſelbſt Urſprung gab und dem zweiten, durch welchen ſie in zwei, drei und mehr Tochterzellen zerfällt. Dieſe ſtellen die zweite Generation dar, bis ſie wiederum ſich theilen in *n . 1*, *n . 2* . . . Enkelzellen. Würde jede Zelle in einem gegebenen Niveau des wachſenden Stammes ſich in 2 theilen, ſo erhielte man eine geometriſche Reihe *1, 2, 4, 8,* als die Deſcendentenreihe der Ausgangszelle.

a) Stammbaum der Gewebe.

Diefe Reihe ift der Stammbaum des betrachteten Gewebes. Setzen wir an Stelle der die Ordinate angehenden Linien, Fig. 176, genaue Abbildungen der Durchfchnitte, in welchen alle Wachsthums- und Theilungsvorgänge als hiftologifche Zeichnungen feftgehalten wären, von Zeitpunkt zu Zeitpunkt, Zeichnungen, welche gewiß angeben, wann der *nte*-Defcendent feine Wand zu verdicken beginnt, wann er fein Wachsthum einftellt, wann er feinen Protoplasmakörper verliert und verholzt u. f. f.; fo überfchauten wir alle Vorgänge der Leitung, Translocation, Verdunftung und wir würden aus der Coïncidenz mehrerer Vorgänge auf ihren caufalen Zufammenhang fchließen, oder auf einen Caufalnexus mit äußeren Einflüffen, welche, wie die Strahlung, Temperatur u. f. f. den pflanzlichen Organismus beeinfluffen.

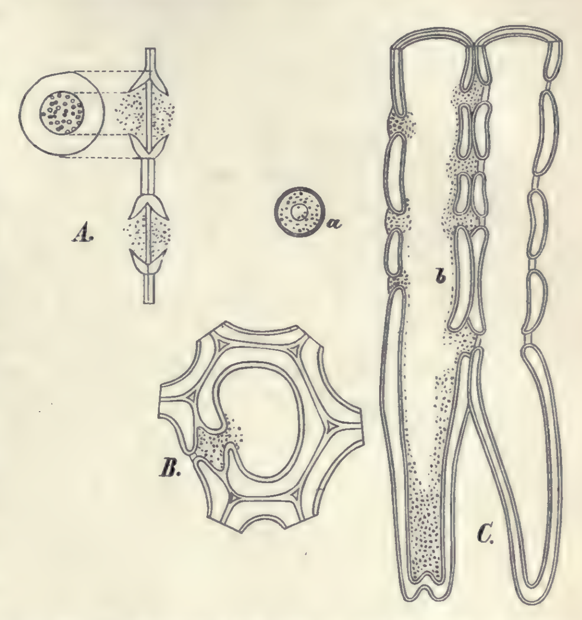


Fig. 297. Kiefernholzzellen mit Zinnober injicirt nach Theodor Hartig. *A.* Längswand im radialen Durchfchnitt, der Zinnober hat fich links und rechts von der Scheidenwand angefammelt. *B.* Querfchnitt des Tüpfels. *C.* Längsfchnitt der Holzzellen, in *a* Flächenanficht der gefüllten Linfenräume, *b* radialer Längsfchnitt.

b) Erlöfchende Defcendenten: Epidermis, Mark, Holz, Borke, Kork.

Nicht alle Defcendenten, welche in der befprochenen Reihe auftreten, bleiben in dem Sinne dauernd thätig und lebensfähig, daß fie ftetig, fo lange das Organ (Stamm, Blatt, Wurzel) wächft, mitwachfen, fich theilen und an dem Stoffwechfel theilnehmen. Es erlöfchen frühzeitig ganze Gewebeparthieen in diefem Sinne, fo die Epidermis, welche mit dem Zuftand, wo das Organ ausgewachfen ift, ihre Theilungen einftellt und die Fähigkeit der Reproduction abfolut verliert — das Mark, welches fehr bald fchon im erften Jahre der Dauergewächfe vertrocknet und nur an der Peripherie (ganz feltene Fälle nachträglicher Neubildung abgerechnet) leitungsfähig bleibt. Holz, Borke, Kork, find Gewebe, welche faft fofort nach der Entftehung im erften Jahre abfolut theilungsunfähig werden.

c) Dauernd thätige Descendenten: Cambiform, Gitterleitzelle, Cambium, leitendes Grundgewebe.

Gewisse Zellenabkömmlinge unterhalten den Vorgang der Theilung und Leitung, der Theilung allein oder der Leitung allein, von dem ersten Moment des Entstehens des Organes (Stamm, Wurzel u. s. f.) durch ein Jahr, ein Jahrzehnt, Jahrhundert und bei den tausendjährigen Baumriesen[1]) während eines Jahrtausends. Wir erhalten für den Dicotylenbaum:

1⁰ die Theilung erlischt im ersten Jahr: Kork, Holz, Mark, Epidermis;

2⁰ die Theilung und die Leitung erlöschen: Kork;

3⁰ die Leitung dauert durch Jahrzehnte und erlischt im Lauf vieler Jahrzehnte in centrifugaler oder centripetaler Richtung: Holz, Rinde (Borke), Mark der Bäume (Cambiform, Gitterzelle, Grundgewebe, Holz- und Bastparenchym);

4⁰ Leitung und Theilung dauern durch das ganze Leben: Cambiumring, Vegetationspunkt (s. allgem. Morphologie).

Mit Bezug auf die Holzbildung im Stamme, erhalten wir das folgende Schema des Stammbaumes der Gewebe und somit der Blutsverwandtschaft der Zellen:

Keimbläschen. Proten I. Ranges.
|
Vorkeim (Rückschlag in den Fadenalgentypus).
|
Keimküchelchen und primärer Stamm.

Primäre Cambialstreifen. Proten der primären Gefäßbündel. — Urmeristem. Proten der geschichteten Gewebe.

Urmeristem → Grundgewebe. Proten des Korkes der Steinzellen der Fibrovasalmassen. — Epidermis.

Epidermis → Blatt. — Haar. → Geschlechtliche Secrete. Keimbläschen (Moose).

Grundgewebe → Adventive Sprosse.

Primäre Cambialstreifen + Grundgewebe → Secundäre Fibrovasalmassen (Cambiumring?).

Secundäre Fibrovasalmassen → Holzmarkstrahl. | Holz. | Tracheïde. | Gefäß.

Holzmarkstrahl → Rindenmarkstrahl.
Holz → Holzparenchym. Bast. → Bastparenchym.
Tracheïde → Leitzelle.

[1]) Linde von Dortmund. Californische Riesenfichte. Wellingtonia gigantea. Eiche in Petersburg.

Wir haben uns an den Gedanken gewöhnt, daß wenn ein Element einmal ſo weit differenzirt iſt, wie die Elemente des Holzzuwachſes es ſind, daß dann der Keim zu dem ganzen Stammbaum verloren gegangen iſt. Es läßt ſich aber zeigen, daß in einem beſtimmten Zeitpunkt der Entwickelung das Holz in ſich die Fähigkeit beſitzt, ſich zu verjüngen, derart, daß ſelbſt aus den fertig differenzirten Zellen neue Gewebe hervorgehen. Dieß tritt namentlich in Folge eines äußeren Reizes, wie die Verwundung durch Menſchenhand oder Thiere, ein.

C. Vertheilung der Gefässbündel[1]).

Die primären Gefäßbündel durchziehen die Pflanze als ein continuirliches Netzwerk, von der äußerſten Nervenendigung im Blatte bis zur Wurzelendigung.

Die Vertheilung derſelben im Querſchnitte iſt abhängig von der Stellung der Blätter. Für die große Mehrzahl der Pflanzen (die Ausnahmen ſind unter der Syſtematik abzuhandeln) kann man für den, vor dem ſecundären Zuwachs belegenen Zeitraum ſagen:

1° wenn man alle Nerven der vorhandenen Blätter reſp. Zweige rückwärts in den tragenden Stamm verfolgt, ſo beſchreibt man den Verlauf der ſämmtlichen Gefäßbündel, und es entſteht ein Maſchenſyſtem bei den Gefäßcryptogamen und Dicotylen von der Beſchaffenheit der Fig. 298, 299, welches in einer Cylinderfläche liegt. Außer dieſen finden ſich dann nur die ſehr kleinen Ausläufer der Niederblattregion.

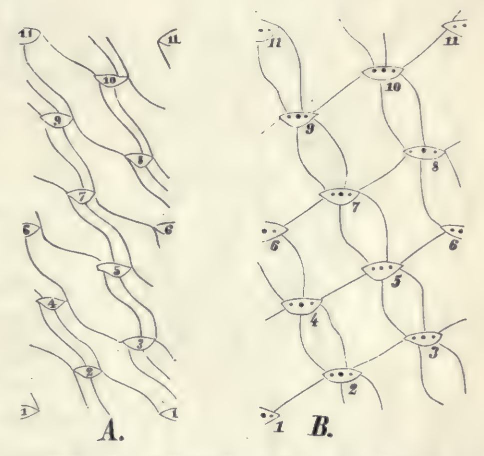
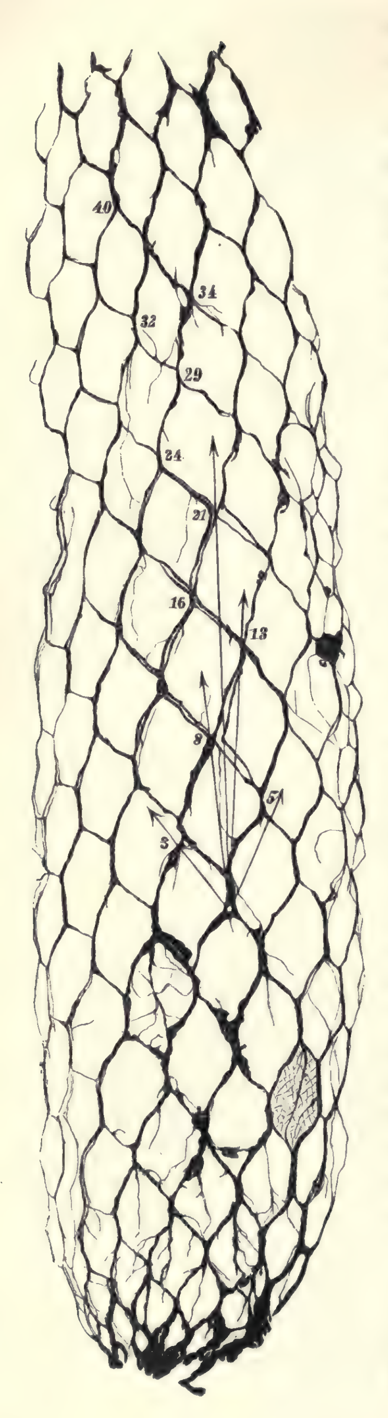


Fig. 298. *A.* Aufgewickelter Cylinder eines Zweiges von Populus laurifolia. In jede Blattnarbe treten drei Spuren, von jeder Blattnarbe ſtehen dieſelben mit den Nachbarn in Zuſammenhang. *B.* Aufgewickelter Cylinder des Quercus prinos wie vorher. Ein Theil der Spuren ſteigt nach links, ein anderer Theil nach rechts.

Vorzüglichſte Studienobjecte, neben unſeren Waldbäumen, ſind die Opuntien. Fig. 299 ſtellt ein Skelett dar, welches durch Ausfaulen des Grundgewebes entſtanden. Die rhombiſchen Maſchen ſind noch mit einer großen Anzahl von Faſerverzweigungen ausgefüllt. Die rhombiſche Maſche

[1]) Nägeli, Beiträge zur wiſſenſchaftl. Botanik. I. Heft. Leipzig. Engelmann. 1858. Ueber Wachsthum des Stammes u. ſ. f.



iſt der Ort, wo bei den Cacteen die rudimentären Nebenorgane (Haarbüſchel) ſitzen.

Das vorliegende Skelett ſtellt die Hälfte des flachen Stammes dar. Jede rhombiſche Maſche iſt von vier Nachbarmaſchen eingegrenzt. In den Rhombenſeiten verlaufen die Paraſtichen 0,3, 0,5. In die lange Diagonale fällt die Paraſtiche 0,8. Die *13*er iſt die Verbindungslinie aus den Schnittpunkten durch zwei in der *5*er Richtung nebeneinanderliegende Maſchen.

Aehnliche Geſetzmäßigkeiten, wie ſie in der Anordnung der primären Gefäßbündel hier und in den ſchematiſchen Darſtellungen Fig. 298 vorliegen, herrſchen bei allen höheren Gefäßpflanzen;

2⁰ es beſteht keine Gefäßbündelverbindung zwiſchen dem Stamm reſp. Blatt einer- und den acceſſoriſchen Organen: Stachel, Haar, Drüſe andererſeits.

Als einfachſtes Schema der Entwickelung für die Baumknoſpe möge die Figur 300 dienen. Sie ſtellt einen Durchſchnitt dar, parallel der Zweig- beziehentlich Stammaxe, nachdem ſoeben die Niederblätter (Knoſpenſchuppen), deren Gefäßbündel mit den unteren Pfeilen verlaufen, entwickelt, oder abgefallen waren. Die primären Gefäßbündel, welche, in die Laubblätter *L* eintretend, dort die Nervatur bilden, und dieſelben für die Knoſpenſchuppen *N*, welche die Knoſpe im laufenden Sommer wieder ſchließen, verlaufen auf der Innenſeite des ſchraffirten Theiles der Zeichnung; dieſer ſtellt den Durchſchnitt der erſten Jahresholzlage dar; da wo dieſelbe oben bei ξ endigt,

Fig. 299. Skelett der Gefäßbündel in einem Opuntienſtamm. Die rhombiſchen Maſchen ſind mit einem feinveräſtelten Netzwerk von Gefäßbündeln ausgefüllt, ſo wie dieß mehrere Maſchen in dem unteren Theile der Figur zeigen, in den Schnittpunkten der Rhomben ſitzen die Haarbüſchel der Pflanze, die Pfeile führen nach den *3*er, *5*er u. ſ. f. Paraſtichen (nach einer photographiſchen Pauſe).

beginnen die primären Gefäßbündel derjenigen Blätter, welche in dem nächſten Sommer zur Entfaltung kommen. In der Richtung der Axe dürfen wir das Wachsthum als unbegrenzt anſehen, ſtets ſchließen nun die primären Gefäßſpuren in derſelben Richtung an bereits vorhandene an, ſo daß dieſelben gewiſſermaßen weiter fließen, mit gelegentlichen ſeitlichen Abzweigungen, welche in die ſeitlichen Organe ausmünden. (Man vergl. auch die Figur 315.)

Stellung und Verlauf der primären Gefäßbündel[1]).

Die primären Gefäßbündel ſtehen im Querſchnitt in einem Kreis: Mehrzahl der Dicotyledonen; in zwei Kreiſen: Stamm der Tradescantien, Piperaceen und viele andere; endlich weit über den ganzen Querſchnitt zerſtreut bei den baumartigen Monocotylen.

Der Bewegungsvorgang, deſſen Studium wir oben S. 303 zum Vorwurf machten, kann zunächſt in den Längsſchnitten Fig. 301 und Fig. 300 dargelegt werden.

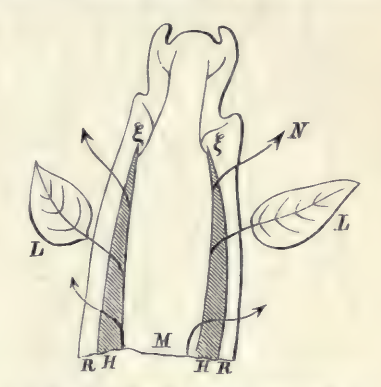


Fig. 300. Schema eines Stammdurchſchnittes dicotyler Holzpflanze. *H* der Holzkörper. *M* Mark. *R* Rinde. In ξ gehen die primären Gefäßbündel nach der Knoſpe und den Blättern. *N* die Spuren der Nieder-, *L* die Laubblätter.

Die Gefäßbündel Fig. 301 *f, f', f'* geben Ausläufer ab, welche zum Theil in die ſeitlichen Organe *T T'*, Blätter, einmünden, zum Theil aber gehen ihre oberen Endigungen nach der Endknoſpe *A*. In der nächſten Nähe dieſer ſtehen die Blätter *T T''*. In dieſen differenzirten ſich die Gefäßbündel, ehe noch der Anſchluß an das Gefäßbündel *f'''* z. B. hergeſtellt iſt. Dieſer wird erreicht, indem während der nachträglichen Streckung des ganzen hier im Durchſchnitt verzeichneten Stammabſchnittes das Blattbündel nach unten fortrückt, während das Stammbündel ihm entgegenrückt.

Bei den Palmen, Dracænen, Pandanus, Fig. 302, haben wir Studienobjecte, welche den Vorgang der hier herrſchenden Verſchiebung noch deutlicher demonſtriren. Wir brauchen hier nur zu fragen: wie muß ſich der Kegel *A B* mit allen in ihm verzeichneten Gefäßbündeln verſchieben, damit alle Blätter, *T, T', T''*, welche jetzt dicht gedrängt ſtehen, ſpäter auf größere Intervalle am Stamme gerathen und doch alle mit Gefäßbündeln verſehen werden?

---

[1]) Dr. C. Sanio, Einige Bemerkungen in Betreff meiner über Gefäßbündelbildung geäußerten Anſichten. 165. 71. 84. 91. 97. Bot. Ztg. 65. — Hausheim, Ueber gürtelförmige Gefäßſtränge-Verbindungen im Stengelknoten dicotyler Gewächſe. 1858. Berlin. Dümmler.

Schon in der Anlage im Kegel *A B* verlaufen die Bündel zur Achſe des Stammes geneigt; ſie beſchreiben tangential und radial ſchiefe Bahnen, und es muß ein Bündel, welches in der Zone *A B* nach *A* convergirt, in eines der Blätter *T* eintritt, ſpäter nach der Richtung der Peripherie divergiren, wenn das entſprechende Blatt ſelbſt mehrere Fuß von dem Vegetationspunkt *A* durch das Wachsthum entfernt wurde, oder mit Bezugnahme auf unſer Photogramm, Fig. 302, muß das Stückchen α β mit der Zeit in die Lage α' β' gerathen. Wir wollen dieſen Verlauf den Typus der baumartigen Monocotylen nennen. Die Blätter *T T'* u. ſ. f. ſtehen auf einem flachen Kegel dicht gedrängt, und in dem Maße, wie der Stamm wächſt, rücken ſie in deſſen Cylinderfläche auseinander. In demſelben Maße entſtehen am Vegetationspunkt aber auch wieder neue Blätter und in jedes ſoll eine beſtimmte Anzahl von Gefäßbündeln eintreten. Es wird daher ſtetig die Configuration über dem Niveau *B*, Fig. 302, übergehen in die Anordnung, welche unter dem bezeichneten Niveau herrſcht.

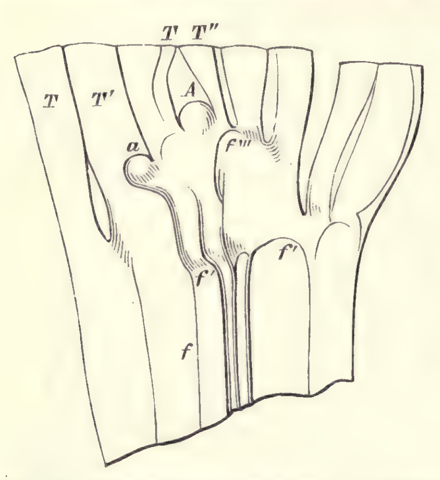


Fig. 301. Tradescantiaſtamm, Längsſchnitt. *T T'* Blattbaſen. *A* Vegetationspunkt. *f f'* die Gefäßbündel. *a* Axillarſproß.

Mit Bezug auf die Blattſtellung (ſ. Allgem. Morphologie, Buch I. 1) muß darauf geachtet werden, daß bei den Dicotylen mit ſtreng geſetzmäßiger Stellung der Blatt- und Gefäßſpuren, dieſe nicht in der Orthoſtichen-[1]), ſondern in der Paraſtichen-Richtung verlaufen. Das beſte Studienobject hierfür iſt der von Nägeli zuerſt unterſuchte Stamm von Iberis amara, Fig. 303. Verfolgen wir einen Strang: er geht in einer Richtung, welche parallel mit der *5*er Paraſtiche anſteigt, ſo aber, daß während des in Richtung des Pfeiles fortſchreitenden Wachsthums die Spur *22* ſich anlegt an *17*, *17* legte ſich früher an *12*, *12* an *7* u. ſ. f., und es müſſen in je einem ſehr dünnen Querſchnitt je 10 Gefäßbündel auftreten.

Anders liegt dieß bei den decuſſirten Pflanzen, wo im Allgemeinen, wenn von den Drehungen des Stammes abgeſehen wird, die Gefäßbündel faſt ſtreng parallel der Axe verlaufen, Fig. 304. In dem Niveau α ſtehen die Keimblätter *A B* Figur mit je einer einzigen Gefäßſpur, dort aber kommen noch

[1]) Orthoſtiche iſt die Verbindungslinie der Blatt-, beziehungsweiſe Zweiginſertionen, welche parallel der geometriſchen Axe des cylindriſch gedachten Organes verläuft.

zwei kleine Spuren *A' B'* für die Axillarſproſſe der beiden Keimblätter hinzu. Das Cylinderſtückchen $\alpha\ \beta$ iſt congruent zu $\beta\ \gamma$, die beziehungsweiſen Blatt- und Axillarſpuren ſind um 90^0 entſprechend der decuſſirten Stellung der Laubblätter verſchoben. *a, b, c* und *d, e, f* ſind die Gefäßbündel, welche zu dem erſten Blattpaar (den Primordialblättern) führen. In den nun folgenden drei Blattpaaren ſind alle Gefäßbündel ausgebildet, mit Ausnahme des oberſten Paares, wo erſt die Medianſtränge *v* und *n* angelegt ſind. Nach abwärts führen die Hauptſtränge *A, B, C, D* in den hypocotylen Stammtheil.

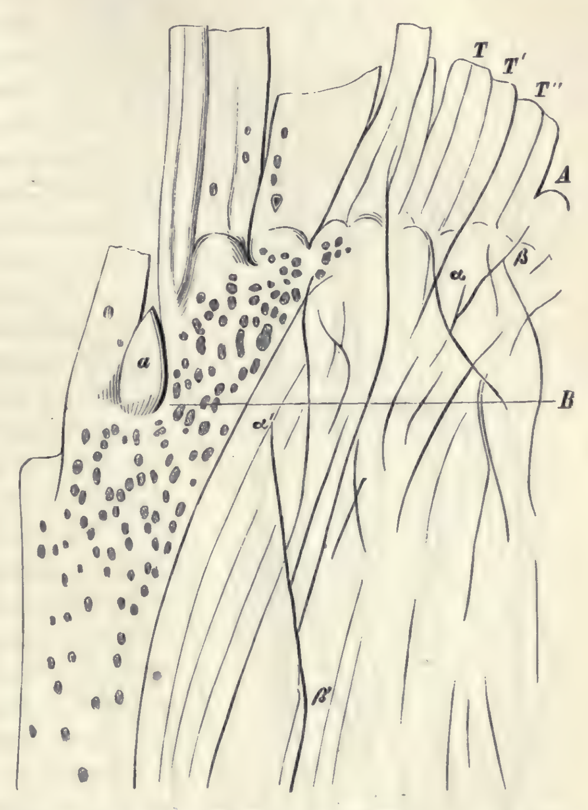


Fig. 302. Pandanus graminifolius. Längsdurchſchnitt durch den Stamm. *A* deſſen Vegetationskegel, *T* Blattbaſen, *a* Axillarſproß, $\alpha\ \beta$ Gefäßbündel, welches in radialer Richtung nach *A* convergirt, $\alpha'\ \beta'$ ein ſolches in divergenter Richtung, bezogen auf die Axe, getroffen. Die Rinde mit zahlreichen Raphiden von oxalſaurem Kalk.

D. Festigkeit der Gewebe[1]).

Ein neuer und origineller Weg, die hiſtologiſchen Verhältniſſe zu behandeln, iſt von Schwendener betreten worden. Er unterſucht zunächſt die Feſtigkeit der verſchiedenen Gewebearten, nachdem er gezeigt, daß in der bisherigen Bezeichnungsweiſe der Hiſtologen nur die Lage und gegenſeitige Anordnung der Gewebe maß-

---

[1]) ſ. Schwendener, Mechan. Princip im anat. Bau der Monocotylen. Leipzig 1874. W. Engelmann. S. 1 ff. S. 14 ff.

Iſt *T* das Tragvermögen, *b* die Länge, ſo iſt der Elaſticitätsmodul

$$E = \frac{Tb}{\lambda},$$

wo λ die Verlängerung bedeutet.

gebend waren. Er unterſcheidet zwiſchen mechaniſchen Zellen (Faſern, Baſt) und dem Füllgewebe oder Grundgewebe und Collenchym, Parenchym.

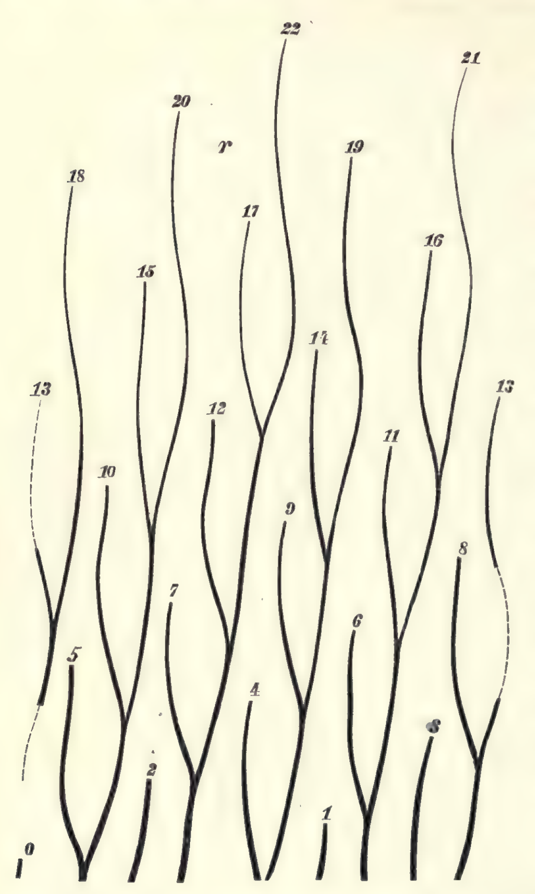


Fig. 303. Aufgerollter Stamm von Iberis amara nach Nägeli. Schematiſche Darſtellung des Fibrovaſalverlaufs; überall wo eine Zahl ſteht, geht das Bündel aus der Cylinderfläche in ein Blatt über.

Um die Elaſticität und Feſtigkeit der Baſtbündel zu prüfen, wandte Schwendener eine ähnliche Methode an wie Hofmeister, als er die Größe der Spannung in den Geweben unterſuchte. Er klammert die Baſtſtreifen, belaſtet ſie in ſenkrechter Lage, beſtimmt die Verlängerung und das Gewicht, bei welchem der Streifen reißt, ſowie den Elaſticitätsmodul (ſ. die Anmerkung S. 313). Es ergibt ſich, daß die ſtärkſten Baſtfaſern in Hinſicht des Tragvermögens und der Elaſticität dem Schmiedeeiſen wenig nachſtehen. Das Tragvermögen pro qmm iſt beim neuſeeländiſchen Flachſe 20 k, bei Pincenetia recurvata aber ſteigt es bis 25 k. Bei Schmiedeeiſen iſt es in Drähten 21 k, der größte Werth bei Stahl iſt 24,6. Das Maximum der Verlängerung iſt bei den Faſern des Papyros 15,2 pro mille. Das Maximum der-

---

Die Tragkraft eines Balkens hängt von ſeiner Conſtruction ab. Der *T* Träger, welcher heutzutage ſo vielfach in Eiſen den Holzbalken erſetzt, möge als Beiſpiel dienen. Die Querſtriche des *T* Trägers werden die Gurtungen desſelben genannt. Wenn h die Höhe des Balkens oder Eiſenträgers, l ſeine Länge, Q die gleichmäßig vertheilte Laſt bedeuten, ſo iſt R die reſultirende Zug- oder Druckkraft in der Mitte des Trägers

$$R = \frac{l}{2\,h} \cdot Q.$$

Iſt das Tragvermögen T der Gurtungen für die Flächeneinheit (13 k pro qmm beim Schmiedeeiſen), ſo iſt $F\,T$ die größte zuläſſige Druck- oder Zugſpannung und es beſteht zwiſchen ihr und der Belaſtung Q die Beziehung

ſelben bei Metallen kommt dem Meſſing zu, mit 1,35 pro mille. Die ſtärkſten Pflanzengewebe unterſcheiden ſich ſomit nicht in der abſoluten Feſtigkeit von den Metallen, ſie ſind dagegen dehnbarer. Sie unterſcheiden ſich weiter «durch die geringere Differenz zwiſchen Tragmodul und Feſtigkeitsmodul, d. h. zwiſchen den Zugkräften, welche blos eine Verlängerung bis zur Elaſticitätsgrenze und denjenigen, welche ein ſofortiges Zerreißen bewirken». Das Schmiedeeiſen reißt erſt bei der dreifachen Belaſtung, welche ſeinem Tragvermögen entſpricht, die Faſer aber ſofort nach dem Ueberſchreiten ihrer Elaſticitätsgrenze.

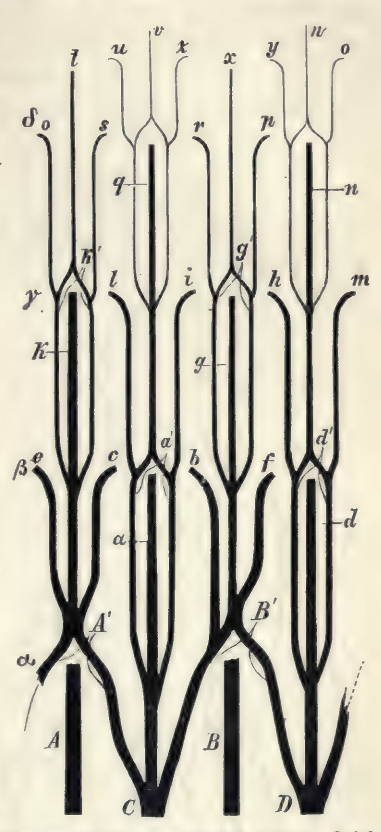


Fig. 304. Urtica Dodartii nach Nägeli. Gefäßbündelverlauf im aufgewickelten Cylinder dargeſtellt.

Bei den Bäumen kommt eine Drehung in Betracht, welche den Schaft um ſeinen Fußpunkt tordirt. Erfaßt der Sturm die Krone, ſo wird der Schaft in erſter Linie pendelartig hin- und hergezerrt. Sodann aber wird die Krone ſelbſt um den Schaft als Axe kleine Theile des Kreisumfanges, welcher um die Axe beſchrieben iſt, durchlaufen und dabei den Schaft bald von links nach rechts, bald von rechts nach links tordiren. In gleichem Sinne wird der Aſt gebeugt, dabei aber wird er ebenfalls einer Torſion unterliegen, indem bald die linke bald die rechte Seite des Schirmes von dem Wind herabgedrückt wird. Der horizontale Aſt oscillirt um ſeine Axe.

Das Auszweigungsſyſtem der Baumwurzel unterliegt ſolchen Einflüſſen nicht.

$$Q = \frac{2h}{l} F T.$$

Die Verbindungsglieder ſind am wenigſten geſpannt. Man beachte, daß ein zweiſeitig befeſtigter elaſtiſcher Stab, welcher in der Mitte die Laſt trägt, bei der Biegung in der oberen Seite poſitiv, in der unteren negativ geſpannt iſt, in der Mitte liegt die neutrale Zone, wo die Compreſſion der Oberſeite in die Expanſion der Unterſeite übergeht. In dem Gewebe der Pflanzen ſind die Gurtungen mechaniſche Zellen, Faſern, die Füllungen dagegen Parenchym, Grundgewebe.

Vergleich der Biegungsfeſtigkeit des Baſtes mit der einer Eiſenbrücke[1]).

Der Querſchnitt in der Britanniabrücke iſt in Fig. 305 *B* dargeſtellt. Die Röhre iſt 14′ breit, an den Enden 23′, in der Mitte 30′ hoch. Die Seitenwände beſtehen aus Eiſenblech von 13—16 mm Dicke. Die Decke hat acht, der Boden ſechs Zellen. Läßt man den rechteckigen Querſchnitt zum Kreisring werden (Fig. 305 *A* ſtellt die Hälfte dieſes dar), ſo bekommt der Durchmeſſer 10 m. Die Differenz zwiſchen dem inneren und äußeren Radius iſt 50 cm. Die Zahl der Rippen im ganzen Umfang iſt 60 cm. Wenn die Wanddicke für die Röhren 1,5, für die Rippen 1 cm beträgt, ſo iſt die Querſchnittsfläche 11,860 qcm und das Maß des Biegungsmomentes 1340 Million kcm. Die Senkungsgröße, wenn die Röhre mit den Enden frei aufliegt, berechnet ſich nach (I) zu 4,6 cm.

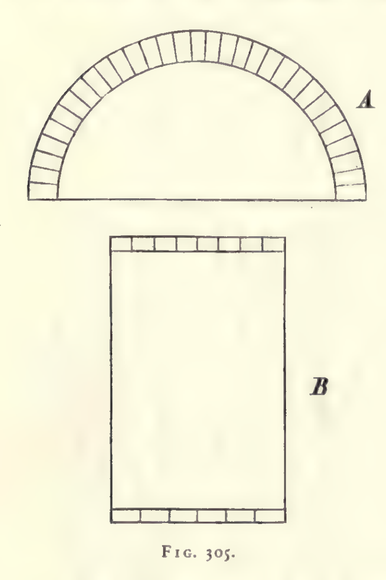


Fig. 305.

Vergleicht man nun einen Scirpusſtengel oder Grashalm in dieſer Hinſicht mit der Brückenconſtruction, ſo muß der Querſchnitt derſelben auf 1000 cm Durchmeſſer berechnet werden. Das ſpecifiſche Gewicht des friſchen Baſtes iſt 1,5, etwa $^1/_5$ von dem des Eiſens. Sei der Elaſticitätsmodul 125000. $\frac{Q}{E}$ erhält einen conſtant anderen Werth. *Q* iſt etwa 5 mal, *E* 15 mal kleiner als beim Eiſen. Die Senkung iſt in der Mitte daher $^{15}/_5$ mal größer. Zu beachten iſt nun, daß der Querſchnitt der Baſtconſtruction für den Querſchnitt des Organs größer iſt, wie der Querſchnitt oder Träger in der Brücke. Er erreicht das Zehnfache der letzteren. Denkt

[1]) (I) Die Senkungsgröße *S* wird aus der Länge der Röhre *l*, welche beiderſeits befeſtigt, aus dem Maß des Biegungsmomentes *W*, aus dem Elaſticitätsmodul *E* und aus dem Gewicht der Röhre *Q* gefunden.

$$S = \frac{5\, l^3}{384\, W E} \cdot Q.$$

(II) Das Biegungsmoment iſt die Größe, welche bei der Belaſtung eines Trägers der Beugung des Trägers umgekehrt proportional iſt. Das Moment iſt beſtimmt (unter der Vorausſetzung, daß die Füllung vernachläſſigt werden darf), indem die Querſchnitte der Gurtungen mit dem Quadrate ihres Abſtandes von der neutralen multiplicirt wird.

man ſich den Querſchnitt des Moliniahalmes auf 1000 cm Durchmeſſer vergrößert und dieſe Conſtruction in Eiſen ausgeführt, bei einem Querſchnitt von 90,000 qcm und dem Eigengewicht Q von 1,350,000 k, ſo erhält man bei 100 m Länge eine Senkung von 12 cm, dieſe würde geſteigert auf 16 cm, wenn die Belaſtung um 450,000 k (Gewicht eines ſtarken Güterzuges) vergrößert würde. Damit wäre das Maximum der zuläſſigen Belaſtung aber noch nicht erreicht (III).

Schwendener unterſcheidet zwiſchen mechaniſchen Zellen und morphologiſchen. Zu den erſteren rechnet er die Baſtbündel, welche namentlich bei den Monocotylen ganz unabhängig von den übrigen Elementen des Gefäßbündels über den Querſchnitt des Stammes und Blattes vertheilt ſtehen, ferner das Collenchym. In zweiter Linie kommen wenigſtens bei den Monocotylen die Zellenelemente in Betracht, welche der Translocation von Protoplasma, Cambiform, Cambium, von Luft und Waſſer, Gefäße- und Holzzellen dienen. Dieſe nennt Schwendener das Meſtom des Gefäßbündels. Ihre Bedeutung für

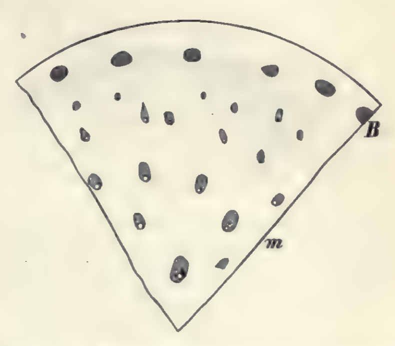


Fig. 306. Arum maculatum, Querſchnittsparthie durch den Blüthenſchaft. *m* Meſtom, d. i. ein Syſtem von Bündeln mit dünnwandigen Gefäßen und Leitzellen. *B* peripherer Kreis von Baſtbündeln.

Form des Trägers.	Maß des Biegungsmomentes.	Werthverhältniß $r_2 = \frac{5}{6}\, r$.
Cylinder	$F \frac{r^2}{4}$	1000.
Hohlcylinder	$F \frac{r_1^2 + r_2^2}{4}$	5545.
Quadratiſcher Balken	$F \frac{r^2}{6}$	1046.
Hohler quadratiſcher Balken	$F \frac{r_1^2 + r_2^2}{6}$	5800.
Dreikantiger Balken	$F \frac{r^2}{8}$	936.
Hohler dreikantiger Balken	$F \frac{r_1^2 + r_2^2}{8}$	5192.
Sechskantiger Balken	$F \frac{5\, r^2}{24}$	1009.

(III) Zur Reduction auf die wirklichen Verhältniſſe im Pflanzenſtengel beachte man, daß wenn n die Verkleinerungsziffer iſt, ſo wird in

$$S = \frac{5}{384} \cdot \frac{l^3 Q}{W E}$$

der Zähler n^6 mal kleiner, weil Q den dritten Potenzen der Längeneinheit proportional iſt.

die Befeftigung des Syftems ift eine geringere. Sie dienen aber in höherem Maße den Anforderungen der Ernährung.

Die Baftzellen befitzen die größte Feftigkeit. Das ganze Syftem des Stammes kann als eine mechanifche Conftruction aufgefaßt werden, in welcher die Baftbündel die Träger bilden, während die übrigen Gewebe

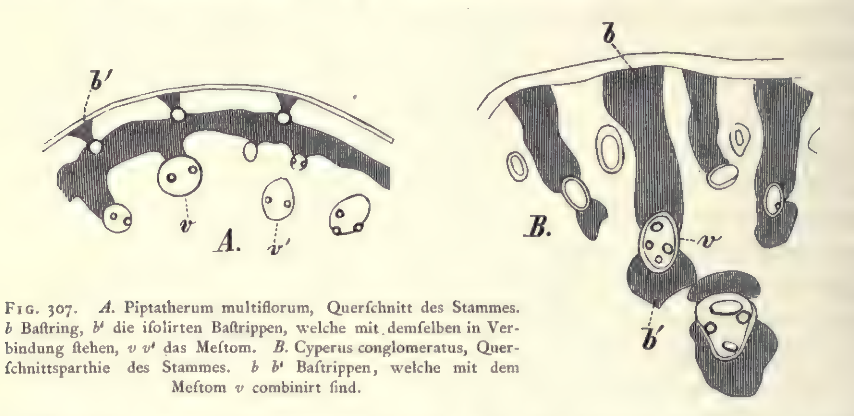


Fig. 307. *A.* Piptatherum multiflorum, Querfchnitt des Stammes. *b* Baftring, *b'* die ifolirten Baftrippen, welche mit demfelben in Verbindung ftehen, *v v'* das Meftom. *B.* Cyperus conglomeratus, Querfchnittsparthie des Stammes. *b b'* Baftrippen, welche mit dem Meftom *v* combinirt find.

als Füllungen und Verbindungen dienen. In der citirten Abhandlung find die wichtigften derartigen Conftructionen, nachdem ein Abriß der Feftig-

---

Im Nenner ändert fich aber blos W mit der vierten Potenz. Die Senkung fällt alfo n^2 mal kleiner aus, d. h. das Organ muß im Verhältniß zu feiner Dicke vielmal länger fein, wenn fein Eigengewicht, plus einer entfprechenden Belaftung, eine erhebliche Senkung veranlaffen foll.

(IV) Die Senkungsgröße einer Röhre, welche einerfeits befeftigt, andererfeits in horizontaler Stellung frei und an diefem Ende belaftet, ift

$$S = \frac{l^3}{3\,W E}\,P,$$

wo P das angehängte Gewicht bedeutet.

Ift der Stab oder Faferabfchnitt einerfeits befeftigt, in fenkrechter Lage am anderen Ende belaftet, ift λ die beobachtete Verlängerung, G das Gewicht, r der Radius des Baftringes, fo hat man:

$$3\,W E = {}^3/_2\,\frac{l}{\lambda}\,r^2\,G.$$

(V) Außer den Zug- und Druckkräften kommen in einem horizontalftehenden, einerfeits befeftigten, andererfeits belafteten Träger noch «fcherende Kräfte» oder Schubkräfte zur Wirkung, welche die Theilchen nach allen Richtungen zu verfchieben trachten. Solche Kräfte werden fowohl parallel der Axe, als auch fenkrecht zu ihr wirkfam fein. So ift z. B. das am Ende hängende Gewicht beftrebt, die betreffende Querfchnittsfcheibe fenkrecht zur Axe zu verfchieben. Die pofitive und negative Spannung und die Schubkräfte parallel und fenkrecht zur Axe laffen fich in ihrer vereinigten Wirkung betrachten, und es kann für jede zur Axe geneigte Richtung die Refultirende gefucht werden. Möge die Fläche den Winkel φ mit der neutralen Faferfchicht einfchließen, die Spannung, welche in diefer Fläche zur Wirkung kommt, ift die Tangentialfpannung

keitslehre vorausgeſchickt iſt, welchen ich in hier beifolgenden Noten berückſichtigt habe, in 20 Typen abgehandelt, von welchen einige der intereſſanteren hier abgehandelt ſein mögen.

A. Einfache Baſtrippen unter der Epidermis.

1⁰ Die Baſtrippen in einfacher Ringlage mit dünnwandigem Meſtom combinirt, z. B. Arum *B* Fig. 306.

2⁰ Kleinere und größere Baſtrippen wechſeln ab und ſind getrennt durch chlorophyllführende Zellen. Blattſtiel der Colocaſien. Das Maß des Biegungsmomentes, wenn die Baſtrippen als vierſeitige Träger in Anſchlag kommen, beträgt 1500 Millionen.

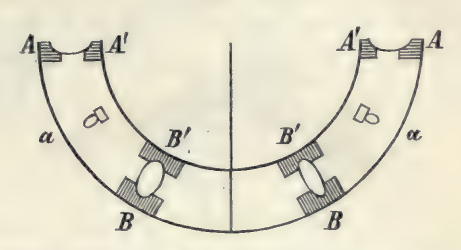


Fig. 308. Schema der Stammhälfte von Scirpus cæſpitoſus. Der Querſchnitt zeigt ſechs größere combinirte Träger und vier kleinere.

B. Combinirte periphere Träger.

3⁰ Je zwei Baſtbündel, deren Verbindungslinie im Radius liegt, und welche durch Meſtom oder Parenchym verbunden ſind, bilden einen zu-

---

T, diejenige, welche ſenkrecht zu ihr wirkt, die Normalſpannung, ſo erhalten wir mit Rückſicht auf *T*

$$tang.\ 2\varphi = {}^1/_2\ \frac{S\,b}{S\,s\,a},$$

worin $S\,b$ die Spannung in Folge der Biegung, und $S\,s\,a$ die Schubſpannung parallel der Axe bedeuten,

mit Rückſicht auf die Normalſpannung *N*

$$tang.\ 2\varphi = -\,2\,\frac{S\,s\,a}{S\,b}$$

als die Werthe des Winkels, bei welchen die Tangential- oder die Normalſpannung zum Maximum oder Minimum werden.

Die Druck- und Zuglinien oder Spannungstrajectorien an einem Träger Fig. 309, welcher in *p* mit 2 k belaſtet iſt, die Höhe von 2, die Dicke ſenkrecht zur Papierfläche von 1 cm beſitzt, ſind berechnet. Sie ſtellen Curven dar, parallel welchen die Spannung nur als Druck oder Zug wirkt. Sie ſchneiden die neutrale Faſer unter dem ∢ von 45⁰. Sie ſchneiden ſich ſelbſt unter dem Winkel von 90⁰. Die Elemente werden im Sinne der abwärts concaven Trajectorie poſitiv (gedrückt), im Sinne der auf-

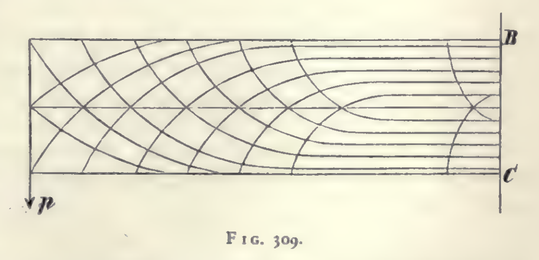


Fig. 309.

ſammengeſetzten Träger, viele ſolche ſtehen in einem Kreis. Wird nach derſelben Methode das Maß der Biegungsmomente berechnet, ſo werden 1087 Millionen erhalten. Das Syſtem würde ſchematiſch durch die Figur 308 dargeſtellt ſein.

4° Meſtom und Baſt iſt combinirt, *A* der einfachere Fall für Cyperus Fig. 312, *B* der complicirtere Fig. 313. Die Feſtigkeit iſt durch die Verbindung der Baſtbündel mit dem Meſtom oder parenchymatiſchen Gewebe weſentlich erhöht. Das Maß des Biegungsmomentes ſteigt auf 1250 Millionen.

C. Baſthohlcylinder mit radialen Rippen, welche mit der Epidermis in Verbindung ſtehen.

In dieſen Typen verſchmelzen zum Theil die Baſtbündel zu Ringen, Fig. 310. Die complicirteren Syſteme ſind zuſammengeſetzt aus zahlreichen peripheren Baſtbündeln und Meſtomen, welche durch Parenchymſtränge verbunden ſind, Fig. 313.

Die großen luftführenden Gänge der Juncaceen, Potameen u. a. m. ſind durch Diaphragmen von Parenchym getrennt. Dieſe ſtellen ebenfalls eine mechaniſche Einrichtung dar, welche das Syſtem befeſtigt. Bei den Scirpusarten werden die Luftgänge durch feine fadenförmige Zellen be-

---

wärts concaven Trajectorie negativ geſpannt (gezerrt). Die ſteileren Enden der Trajectorie entſprechen der kleinſten, die flachen Enden der größten Spannung.

Bei den vegetabiliſchen Organen ſind die Schubſpannungen gegenüber den Druck- und Zugſpannungen wegen der großen Länge verſchwindend klein.

An einem horizontalen am einen Ende eingeſpannten Träger von 2 cm Höhe, 1 cm Dicke, 1 m Länge berechnen ſich die Maxima und Minima der Normalſpannungen in einer Diſtanz von 50 cm vom freien Ende wie folgt:

Es iſt die Querſchnittsfläche aus zwei Quadraten von je 1 cm Seitenlänge zuſammengeſetzt. b iſt die Breite, h die Höhe. Das Maß des Biegungsmomentes W iſt

$$W = \frac{b\,h^3}{12} = \frac{1 \cdot 2^3}{12} = {}^2/_3;$$

die Spannung der äußeren Faſern an der oberen und unteren Begrenzungsfläche iſt

$$R = \frac{P\,x\,e}{W},$$

worin P das Gewicht, x deſſen Abſtand vom freien Ende, e die Entfernung der Grenzfaſer von der neutralen Lage bedeuten. Iſt der Abſtand eines beliebigen Punktes von der neutralen Lage z, ſo iſt die Schubkraft parallel der Axe $S\,s\,a$

$$S\,s\,a = \frac{6\,P}{b\,h^3}\,(e^2 - z^2) = {}^1/_2\,\frac{P}{W}\,(e^2 - z^2);$$

für den vorliegenden Träger iſt allgemein: $S\,s\,a = {}^3/_2\,(1 - z^2)$.

Der Longitudinalſchub ſchwankt zwiſchen 1,5 k per qcm (für $z = 0$) und Null (für $z = e$).

feſtiget, welche in der lebenden Pflanze ſtets im geſpannten Zuſtande angetroffen werden [1]).

Als Befeſtigungseinrichtungen gelten die Gelenkknoten der Gräſer, oberhalb deren das Internodium in intercalarem Wachsthum befindlich iſt. Dieſes aber iſt durch die Blattbaſis vor dem Einknicken geſchützt.

Der Knoten dient zweierlei Zwecken, er iſt im unteren Theil ein Organ der Befeſtigung, im oberen Theile dient er der Bewegung, ähnlich den Gelenkpolſtern der Papilionaceenblätter.

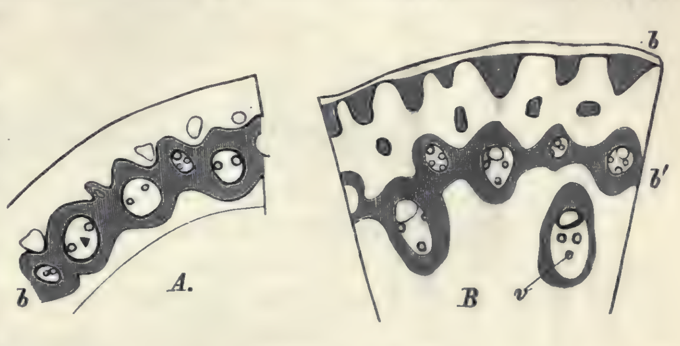




Fig. 310. *A.* Juncus balticus. Kleine Parthie aus dem Querſchnitt des Stengels. *B.* Juncus paniculatus. Kleine Parthie aus dem Querſchnitt des Halmes. *C.* Allium vineale. Blüthenſchaft im Querſchnitt. *b'* Baſtring, *b* iſolirte Baſtſtreifen, *v* Gefäßbündel.

Die relative Feſtigkeit in coniſchen Organen, Stengeln, Baumſtämmen, gegenüber der Biegung um den an der Baſis der Wurzelſtelle belegenen

---

[1]) «Die Normalſpannung N, rechtwinklig zu der oben erwähnten geneigten Ebene, deren Neigung φ übrigens nachträglich noch beſonders zu beſtimmen iſt, erreicht, für einen beliebigen Abſtand von der neutralen, den Maximalwerth $N\text{max.} = \frac{R}{2} + \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 + L^2}$ und den Minimalwerth $N\text{min.} = \frac{R}{2} - \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 + L^2}$.

In dieſen Formeln ſind die Größen R und L für die verſchiedenen Werthe von z arithmetiſch zu berechnen. In unſerem Fall, wo R für die äußerſten Faſern 150 k beträgt, mögen aus der Abhandlung einige Werthe für die Maximalſpannung angegeben ſein:

für $z = 0$ iſt $N\text{max.} = \sqrt{L^2} = L$ = 1,5 k per qcm

« $z = \frac{1}{16} \cdot e$ « $N\text{max.} = \frac{1}{2} \cdot \frac{150}{16} + \sqrt{4{,}69^2 + 1{,}494^2}$ = 9,6 « « «

« $z = \frac{1}{2} \cdot e$ « $N\text{max.} = \frac{1}{2} \cdot \frac{150}{2} + \sqrt{37{,}5^2 + 1{,}125^2}$ = 75,02 « « «

« $z = \frac{3}{4} \cdot e$ « $N\text{max.} = \frac{450}{8} + \sqrt{56{,}25^2 + 0{,}656^2}$ = 112,50 « « «

« $z = e$ « $N\text{max.} = R$ = 150 « « «.

Befeſtigungspunkt, muß in allen Querſchnitten die gleiche ſein. Bei gleicher Materialvertheilung in einem ſolchen Gebilde muß daher eine beſtimmte Beziehung zwiſchen der Länge und dem Radius der hintereinander belegenen Querſchnitte beſtehen. Die Spannung iſt in dem Gebilde gleich groß, wenn die Bedingung erfüllt iſt, daß die dritte Potenz des Radius (R) gleich iſt dem Abſtand der Laſt, welche an dem Ende wirkt, von dem zu R gehörigen Querſchnitt, dividirt durch die Geſammtlänge. Ein Träger, welcher dieſen Anforderungen entſpricht, iſt ein Kegel mit paraboloider Endigung. Er krümmt ſich, wenn er einerſeits befeſtigt, andererſeits in horizontaler Stellung belaſtet wird, ſo, daß die Krümmungsradien am Befeſtigungspunkte größer ſind wie an dem belaſteten Ende. Pflanzenſtengel, Halme, lineale Blätter beugen ſich ſo, daß die Curve dem Kreiſe ſich nähert, dieß muß auch nach obiger Vorausſetzung um ſo mehr der Fall ſein, je ſchlanker der Träger gebauet iſt.

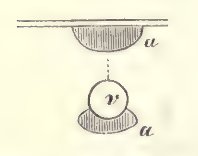
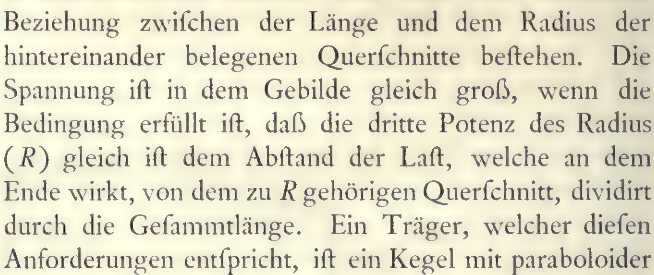


Fig. 311. Querſchnitt einfachſter combinirter Träger. *a* der Baſt, *v* die Gefäße.



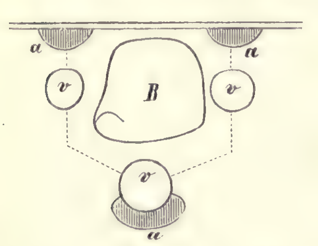


Fig. 312. Querſchnitt der complicirteren Träger. *a* und *v* wie vorher. *B* Parenchym zwiſchen den Fibrovaſalparthieen.

Schwendener beſtimmte die Senkung für mehrere ſchlanke Grashalme, welche einerſeits bei horizontaler Stellung in den Schraubſtock geklammert, andererſeits belaſtet waren. Die Länge der Stücke war 70 mm.

Bei der Berechnung der Minimalſpannungen iſt ſtatt des + vor den Wurzelzeichen ein — zu ſetzen. Die Ziffern bleiben unverändert. Man findet für

$z = 0$ Nmin. = — 1,50 k per qcm

$z = \frac{1}{16} \cdot e$ Nmin. = — 0,22 « « «

$z = \frac{1}{4} \cdot e$ Nmin. = — 0,05 « « «

$z = e$ Nmin. = — 0 « « « .

Die negativen Vorzeichen bedeuten die entgegengeſetzten Spannungen, alſo Druck ſtatt Zug.

Die Richtung dieſer Maximal- und Minimalſpannungen iſt gegeben durch den Winkel φ, welcher die Neigung der fraglichen ſchiefen Ebene zur Horizontalen, oder was dasſelbe iſt, die Neigung der Spannungsrichtungen zur Vertikalen bezeichnet. Das Maximum oder Minimum ergibt ſich in der Formel $tang.\ 2\varphi = -\frac{2L}{R}$.

Für die Werthe von z erhält man: bei $z = 0$ iſt $tang.\ 2\varphi = -\infty$, alſo $2\varphi = 270^0$ und $\varphi = 135^0$, welche nach rechts wie nach links herum Gültigkeit haben. Mit Rückſicht auf einen beſtimmten in der neutralen Axe liegenden Nullpunkt des Kreiſes, von dem aus in gleicher Richtung gezählt wird, iſt alſo $\varphi = 135$ oder 45^0.

Die beiden Richtungen kreuzen ſich alſo rechtwinklig und ſchneiden die neutrale Axe unter 45^0. In dieſen Kreuzungspunkten haben Maximal- und Minimalſpannung glei-

Senkung bei 5 g wirklicher Belaſtung auf 10 g berechnet.

	Juncus glaucus.			
Abſtand von der Baſis . .	0	200	400	700
beobachtete Senkung . .	—	5	9	16
Durchmeſſer des Stammes	2,4	2,28	2,2	1,8.

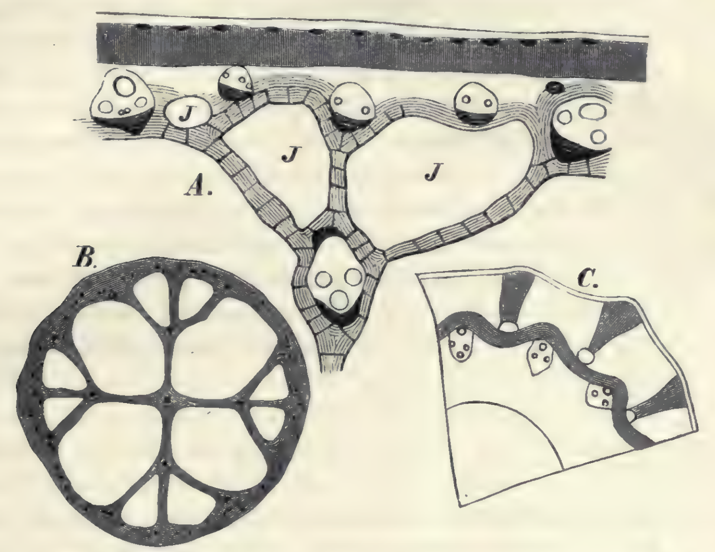


FIG. 313. *A.* Scirpus lacuſtris. Querſchnittsparthie durch den Halm. *J* Intercellularräume. *B.* Scirpus lacuſtris. Querſchnitt durch den oberen Theil des Halmes. *C.* Alopecurus pratenſis. Querſchnittsparthie des oberen Halmtheiles. Die ſchraffirten Theile ſind Baſtbündel oder wie in *C* Baſtring.

---

chen Werth, nämlich 1,5 k per qcm, ſie haben entgegengeſetztes Vorzeichen, weil die eine von Druck-, die andere von Zugkräften herrührt. Für die äußerſte Faſer iſt $z = e$, und dem entſprechend *tang.* $2\varphi = o$, alſo Winkel $2\varphi = o$ oder 180^0, folglich $\varphi = o$ oder 90^0. Die Maximalſpannung iſt hier = 150 k und dabei longitudinal gerichtet; die Minimalſpannung iſt zwar in der Grenzfläche ſelbſt gleich Null, muß aber transverſal gedacht werden, da ſie ſchon in der nächſtliegenden Faſer dieſe Richtung wirklich zeigt.

Für die übrigen Werthe von z berechnen ſich in ähnlicher Weiſe die nachſtehend bezeichneten Winkel.

Die gefundenen Grenzwerthe ſind der Vollſtändigkeit wegen noch einmal aufgeführt, die bei der Berechnung erhaltenen Minuten unter ½ Grad dagegen weggelaſſen.

$z = o;\quad \varphi = 45^0$ oder 135^0

$z = \frac{1}{100}\cdot e;\ \varphi = 58^0$ « 148^0

$z = \frac{1}{16}\cdot e;\ \varphi = 81^0$ « 171^0

$z = \frac{1}{8}\cdot e;\ \varphi = 85^0$ « 175^0

$z = \frac{1}{4}\cdot e;\ \varphi = 88^0$ oder 178^0

$z = \frac{1}{2}\cdot e;\ \varphi = 89^0$ « 179^0

$z = \frac{3}{4}\cdot e;\ \varphi = 90^0$ « 180^0

$z = e;\ \varphi = 90^0$ « 180^0.

«Die Richtungen der Maximal- und Minimalſpannungen, welche die neutrale Axe unter 45^0 ſchneiden, nähern ſich hienach ſehr raſch der Längs- und Querrichtung unſeres Trägers. Schon bei $z = \frac{1}{8}\cdot e$ beträgt die Abweichung nur noch 5^0, bei $z = \frac{1}{4}\cdot e$ nur

Durch die Gewebeſpannung wird die Feſtigkeit des Syſtems erhöht. Ein Theil derſelben wird ihren Grund im hydroſtatiſchen Druck der Flüſſigkeiten auf die Zellwand haben, ſowie eine prall mit Waſſer oder Gas gefüllte Blaſe erhebliche Feſtigkeit gegenüber dem ſchlaffen entleerten Zuſtand zeigt. SCHWENDENER denkt ſich einen hohlen Träger von bekannter Tragkraft und Maſſe (Baſt etwa), derſelbe ſoll mit Gas unter dem Druck von 5 Atmoſphären gefüllt, horizontal aufgeſtellt, einſeitig befeſtigt ſein, wie groß iſt ſeine Tragkraft im gefüllten und geſpannten Zuſtande? Sieht man von der Expanſion des Trägers in der Querrichtung ab, oder denkt ſich dieſe durch ſtarre Ringe eliminirt, ſo kann die Tragkraft P durch die Formeln, welche die angewandte Mechanik benutzt, berechnet werden.

Der Druck von 5 Atmoſphären erzeugt unter der obigen Vorausſetzung lediglich die Längsſpannung (Axenkraft), deren Maß Q ſein möge; iſt ferner P die Tragkraft, welche dieſer Spannung entſpricht, P_1 aber dieſelbe für den ungeſpannten Zuſtand, ohne die Axenkraft Q, F die Querſchnittsfläche, l die Länge, T das Tragmodul[1]), ſo beſteht dieſe Gleichung:

$$\frac{P}{P_1} = \left(1 + \frac{Q\,l^2}{3\,W E}\right) \cdot \left(1 - \frac{Q}{F\,T}\right).$$

Die Tragkraft von P kann größer oder kleiner wie P_1 ſein, je nach Verhältniß der Quotienten in der erſten und zweiten Klammer, je nach dem Maß des Biegungsmomentes und der Spannung längs der Axe. Es folgt hieraus, daß die Gewebeſpannung eine größere Bedeutung für die nicht verholzten ſaftigen und dehnbareren Theile hat, wie für die feſteren.

[1]) Tragmodul iſt die Zugkraft, welche den Träger von der Einheit des Querſchnittes bis zur Elaſticitätsgrenze ausdehnt.

---

noch 2°; alle außerhalb liegenden Faſern werden alſo ziemlich genau in der Längs- und Querrichtung in Anſpruch genommen.

Die Spannungen in der Längsrichtung ſteigen hiebei, wenn wir allmälig von der neutralen bis zur äußerſten Faſer fortſchreiten, von 1,5 k bis auf 150 k; diejenigen in der Querrichtung fallen dagegen von 1,5 k bis auf Null.»

Um die Curven zu conſtruiren, muß beachtet werden: 1) daß durch eine kleine Verſchiebung der Querſchnittfläche, für welche die Spannungen berechnet wurden, die gefundenen Spannungswerthe und Spannungsrichtungen nicht erheblich modificirt werden, und 2) daß die Curvenſtücke der unteren Trägerhälfte zu denen der oberen ſymmetriſch ſind.

Statt alſo die kurzen Linien, welche die Spannungsrichtungen bezeichnen, in der nämlichen Vertikalen aufzutragen, ſchließt man dieſelben ſo an einander an, daß z. B. diejenigen, welche den Minimalſpannungen entſprechen, eine gebrochene Curve bilden, welche in der neutralen Faſerſchicht um 45°, bei $z = {}^1/_8 \cdot e$ aber ſchon um 85° und bei $z = {}^1/_2 \cdot e$ um 89° gegen die Horizontale geneigt iſt, u. ſ. f. Dieſen Curven iſt eine möglichſt regelmäßige, den Neigungen entſprechende Krümmung zu geben. Das Gleiche gilt für die Maximalſpannungen, welche indeß etwas weiter von der gegebenen Querſchnittfläche hinweg-

An dieſelben Gewebeformen, welche den mechaniſchen Anforderungen genügen ſollen, werden aber offenbar im Leben der Pflanze auch die Aufgaben der Translocation der Ernährung geſtellt. In letzterer Hinſicht ſind die Chlorophyllzellen ſo vertheilt, daß ſie die Lücken zwiſchen den mechaniſch wirkſamen Baſtbündeln ausfüllen. Die Leitzellen liegen meiſt im Meſtom. Die beiderlei Gewebearten paſſen ſich, wie in vielen Fällen gezeigt werden kann, gegenſeitig ſowie ihren Aufgaben an (ſ. SCHWENDENER a. a. O., S. 107 ff.).

Wir entnehmen der SCHWENDENER'ſchen Arbeit das folgende Reſumé.

a) Die Pflanzen haben ſich im anatomiſchen Bau den äußeren Einwirkungen angepaßt. Sie müſſen, wenn ſie in der Luft leben, ſo die Stämme, Blätter, Blüthenſchäfte, dem ſeitlichen Zug und Stoß (durch den Wind und einſeitige Belaſtung) eine genügende Biegungsfeſtigkeit entgegenſetzen. Andere Organe bilden ſich für eine größere Zugfeſtigkeit aus, ſo die wurzelnden Stämme und die im Waſſer fluthenden, welche zum Theil den Auftrieb eines großen Volumens im ſtehenden, oder den Zug ſpecifiſch leichter Maſſen im fließenden Waſſer zu ertragen haben. Endlich müſſen die feuchte Erde bewohnenden Rhizome der Cyperaceen, Gramineen u. a. m. zweien Anforderungen genügen: erſtlich der Durchlüftung, indem ſie durch große Intercellularräume das Gewebe auflockern. Zum zweiten müſſen dieſelben Organe durch das mechaniſche Gerüſte der Baſtbündel in Träger-

---

führen. Für eine genauere Conſtruction müßte die Berechnung hier für zahlreiche Querſchnitte ausgeführt werden. Aber auch ohne dieſe Berechnung iſt erſichtlich, daß die Curve den Maximalſpannungen, welche die neutrale Axe unter 45° ſchneidet, ſchon bei $z = \frac{1}{8} \cdot e$ nur noch 5°, bei $z = \frac{1}{4} \cdot e$ noch ungefähr 2° von der Längsrichtung abweicht und daß ſie in ihrem weiteren Verlaufe nach der Befeſtigungsſtelle hin ſich immer mehr der Längsrichtung nähert, um in der äußerſten Faſer dieſelbe vollſtändig zu erreichen. Sowohl Druck- als Zuglinien der oberen Trägerhälfte ſind alſo für die bezeichnete Entfernung von 50 cm vom belaſteten Ende bekannt, und auch der weitere Verlauf der Zuglinien iſt wenigſtens annähernd gegeben. Man hat jetzt zur Vervollſtändigung des Bildes nur noch nöthig, in der unteren Trägerhälfte das Spiegelbild der gezogenen Curven herzuſtellen, oder was dasſelbe iſt, die Zeichnung auf dem Papier um die neutrale Axe zu drehen und auf der anderen Seite abzudrucken oder durchzupauſen. Die Drucklinien verlaufen alsdann von der oberen Grenzfläche in der bezeichneten Weiſe quer nach innen, beſchreiben in der Nähe der Neutralen einen ſtarken Bogen, um dieſelbe unter 45° zu ſchneiden und nehmen dann in der unteren Trägerhälfte ziemlich raſch eine der Axe nahezu parallele Richtung an. Die Zuglinien gehen in ſymmetriſcher Krümmung von der unteren in die obere Trägerhälfte über. In Fig. 314 iſt ein zuſammengehöriges Paar ſolcher Linien dargeſtellt.

Für die Beurtheilung der oben geſchilderten Trägerformen iſt es nun wichtig, darauf hinzuweiſen, daß hier das Verhältniß der Länge zur Höhe ſich gewöhnlich in viel höheren Ziffern bewegt, als für die vorhergehende Berechnung vorausgeſetzt wurde. Die Druck- und Zuglinien gehen folglich in ſchlanken vegetabiliſchen Trägern noch in viel ſtärkerer Krümmung, unter Umſtänden beinahe in rechten Winkeln

combinationen oder Gürteln (Schutzſcheiden) gegen den Druck geſchützt ſein, welcher ſenkrecht auf die Fläche des Cylinders ſie einzuknicken ſtrebt.

b) Die Zellen, welche vorzugsweiſe in dieſem Sinne mechaniſch am meiſten leiſten, ſind die Baſtzellen und baſtähnlichen Collenchymzellen, welche in ihrer anatomiſchen Gruppirung vorzugsweiſe das mechaniſche Syſtem des Pflanzenkörpers repräſentiren. Die Baſtzelle iſt ein zugeſpitzter Cylinder, in deſſen Wand die Poren, die Streifen größter und kleinſter Dichte, beziehentlich die Moleculreihen in longitudinaler, oder in der Richtung einer linksläufigen Schraubenlinie geordnet ſind.

c) Die Baſtzellen beſitzen eine Zugfeſtigkeit innerhalb ihrer Elaſticitätsgrenze, welche der des Schmiedeeiſens gleichkommt, von welchem ſie ſich durch größere Dehnbarkeit unterſcheiden. Der Elaſticitätsmodul iſt dementſprechend beträchtlich kleiner, und erreicht im Maximum den neunten Theil des für das Schmiedeeiſen bekannten.

d) Die Baſtzellen nehmen im anatomiſchen Syſtem, eben weil ſie allen möglichen äußern Anforderungen bei verſchiedenen Pflanzen genügen müſſen, keine beſtimmte Stellung ein, ſie ſtehen wie oben dargelegt, bald in iſolirten Streifen, bald combinirt mit den Elementen des Gefäßbündels, bald in geſonderten Cylinderflächen (Schutzſcheiden).

(natürlich immer mit abgerundeten Ecken) von der Quer- in die Längsrichtung über, d. h. die Maximal- und Minimalſpannungen entſprechen noch viel entſchiedener der Vertikalen und Horizontalen. Wenn nun ſchon in unſerem Falle die Maximalſpannung in der äußerſten Faſer 150 k erreicht, während die quer gerichtete Minimalſpannung blos zwiſchen 0 und 1,5 k variirt, ſo muß der Unterſchied in ſchlanken Blüthenſchäften u. dgl. noch viel größer ſein. Mit zunehmender Länge des Trägers ſteigen nämlich unter übrigens gleichen Bedingungen auch die Maxima der longitudinalen Spannungen, während die Minima, obſchon ſie in der Axe ſelbſt den conſtanten Werth L haben, in den äußeren Faſern immer kleiner werden.

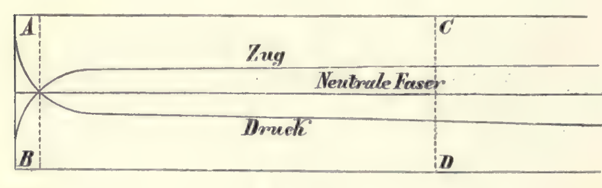


Fig. 314.

Es darf uns daher nicht wundern, wenn in der Pflanze die Füllungen zwiſchen den Trägergurtungen, weil dieſelben ja blos die quer gerichteten Minimalſpannungen aufzunehmen haben, oft auffallend ſchwach gebaut ſind. Wenn vollends der einzelne Träger blos Beſtandtheil eines hohlcylindriſchen Syſtems iſt und folglich die neutrale Axe nicht in ſich aufnimmt, wie das z. B. im Stengel von Scirpus cæspitoſus (vgl. Fig. 308) der Fall iſt, ſo erreichen die Querſpannungen in der Füllung nur einen verſchwindend kleinen Betrag.

Wir haben nun allerdings im Vorhergehenden die Tangentialſpannungen, d. h. die Schubſpannungen parallel der ſchiefen Ebene, deren Neigungen φ für das Maximum oder Minimum nach der oben aufgeſtellten Gleichung zu ermitteln wären, unberückſichtigt ge-

e) Die Conſtructionen, welche der Anforderung der Biegungsfeſtigkeit entſprechen, ſind bei den Monocotylen mannigfacher Art: zumeiſt iſt es der Hohlcylinder, in welchem die Baſtbündel als Träger oder Pfoſten verbunden ſind, mit Xylem, Parenchym und Parenchymdiaphragmen. Die Feſtigkeit nimmt in acropetaler Folge, entſprechend dem geringeren Widerſtandserforderniß, ab.

Die Folge davon iſt, daß ſich die Organe, Stengel, Blüthenſchäfte und die einzelnen Blätter in eleganten Curven (Parabel) beugen.

Die Feſtigkeit wird bei intercalarem Aufbau durch die Blattſcheiden unterſtützt, z. B. Gräſer, Liliaceen.

f) Nach den Anforderungen in Hinſicht der Feſtigkeit machen ſich die lichtbedürftigen Chlorophyllzellen des Grundgewebes und die mechaniſchen Baſtzellen an der Peripherie den Raum ſtreitig, die letzteren weichen zurück, herrſchen aber an ſolchen Organen, wo die erſteren durch andere Umſtände ihre Bedeutung in der Peripherie verlieren, dort wieder vor, z. B. in den Blattſcheiden.

g) In gleichem Sinne geben die Baſtzellen die periphere Lage in ſolchen zugfeſt zu conſtruirenden Organen auf, in welchen die Rinde durch lockermaſchiges Parenchym für die Durchlüftung in erſter Linie eingerichtet iſt. Hier wird z. B. bei den Wurzeln, den Stämmen der Waſſerpflanzen die Feſtigkeit durch einen peripheren dünnen Baſtring erlangt, während die Gefäßbündel in das Centrum des Stammes zurückgedrängt erſcheinen.

h) Die mechaniſchen Zellen dienen außer der Befeſtigung des ganzen Syſtems auch noch der Durchlüftung, in dieſem Falle werden ſie lockerer und beſitzen größere Poren, ſo die Libriformzellen der Coniferen, aber auch der baumartigen Monocotylen (Dracæna, Cordyline).

---

laſſen. Allein dieß iſt unter den gegebenen Umſtänden geſtattet. Denn obſchon die Rechnung für die peripheriſchen Faſern einen nicht unbedeutenden Maximalſchub ergibt und überdieß zeigt, daß die Richtungen, in denen dieſe Schubkräfte ein Maximum erreichen, die rechten Winkel der ſich kreuzenden Druck- und Zuglinien genau halbiren, ſo kann doch die ſchiefe Schubſpannung für die weiche Füllungsmaſſe ſchon deßhalb nicht in Betracht kommen, weil jeder ſchiefe Schnitt nicht blos die Füllung, ſondern auch die feſteren Gurtungen trifft. Die Füllung hat alſo für ſich allein blos den oben bezeichneten kleinen Spannungen zu widerſtehen. Aus demſelben Grunde haben z. B. die Nietenreihen in der Mittelwand eines ſchmiedeeiſernen Blechträgers, wie ſie bei kleineren Brücken angewandt werden, nicht dem Maximum der ſchiefen Schubſpannung, ſondern einfach dem Longitudinalſchub zu widerſtehen, wozu dann allerdings zunächſt der Gurtung noch die entſprechende Zug- oder Druckſpannung kommt.

Mit den Spannungstrajectorien belaſteter Träger nicht zu verwechſeln ſind die Drucklinien in Gewölben, auf deren nähere Beſprechung an dieſer Stelle ich indeß verzichte, weil die Spannungsverhältniſſe gewölbeartiger Conſtructionen im Allgemeinen bekannt, oder doch jedenfalls weniger unbekannt ſind. Einiges Specielle hierüber ſoll bei Beſprechung beſtimmter Fälle mitgetheilt werden.»

E. Secundärer Zuwachs am Baume[1]).

Wir ſehen zunächſt von den Verhältniſſen der Blattſtellung und von den Aeſten, Zweigen ab und ſuchen uns einen Ueberblick zu verſchaffen über die augenfälligſten Bewegungen. Ich wähle dazu ein Schema, in welchem alle Nebendinge der feineren Anatomie und Morphologie bei Seite gelaſſen ſind, Fig. 315. Es möge in dem Jahre 1870 ein Niederblatt und ein Laubblatt in dem Längsdurchſchnitt getroffen ſein, ebenſo im Jahre 1871 und 72, und das Syſtem befinde ſich im Winter 1872/73. *A* iſt der Vegetationspunkt, *F*, *F'* mehrere Blattanlagen, *a* die Axillarknoſpe, *N* das Niederblatt des geſchloſſenen Endtriebes. Von *A* bis zum Niveau *A'* iſt alsdann das Syſtem ohne Jahrringe; es iſt die Region der primären Gefäßbündel.

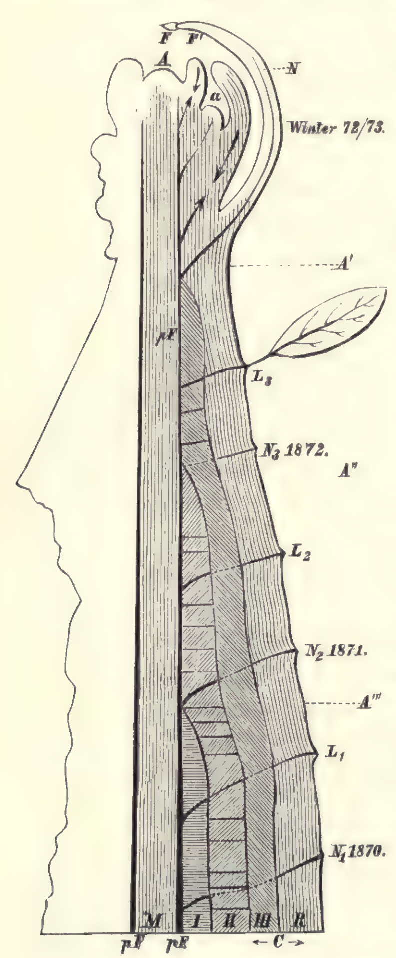


Fig. 315. *pF* primäre Gefäßbündel. *I II III* erſter, zweiter, dritter Jahrring. *M* Mark. *R* Rinde. *N* Niederblatt. *L* Laubblattſpur am Rindenmantel. *F* Laubblatt. *A* Vegetationspunkt der Hauptaxe, *a* derſelbe für den Axillarſproß.

Die durch Pfeile angedeutete Spur im Blatte *F* geht während der nächſten Zeit, dafern Wachsthum herrſcht, der entſprechenden, durch einen Pfeil bezeichneten Stammſpur entgegen, ebenſo in *F'*.

Gehen wir nun eine Etage an dem Syſtem hinab nach *A''*, ſo liegt jetzt über der immer parallel mit dem Marke und dieſem dicht anliegenden Gefäßſpur *pF* der das ganze Syſtem bis *A'* überziehende Jahrring III. In ihm ſtecken die abgeriſſenen Spuren des Laub- und Niederblattes, welche im Sommer des Jahres 1872 ſich entfalteten und ſchließlich abfielen. In der Etage *A''*, *A'''* liegen über *pF* zwei Jahrringe, und die entſprechenden Spuren L_2 (für das Laubblatt), N_2 (für das Nebenblatt)

[1]) Th. Hartig, Forſtliche Culturpflege Deutſchlands. Entw. des Jahrrings. Bot. Ztg. 1853. S. 553. Die Entſtehung der Markſtrahlen. Bot. Ztg. 55. S. 217. — Hugo v. Mohl, Ein Beitrag zur Lehre vom Dickenwachsthum des Stammes der dicotylen Bäume. 1. Bot. Ztg. 69. — Dr. Robert Hartig, Zur Lehre vom Dickenwachsthum der Wald-

ſind nun ganz zugedeckt von einer Jahreslage des Holzes und von einer entſprechenden der Rinde, die punktirte Linie bei L_2 und N_2 ſtellt die urſprüngliche Verbindung dar.

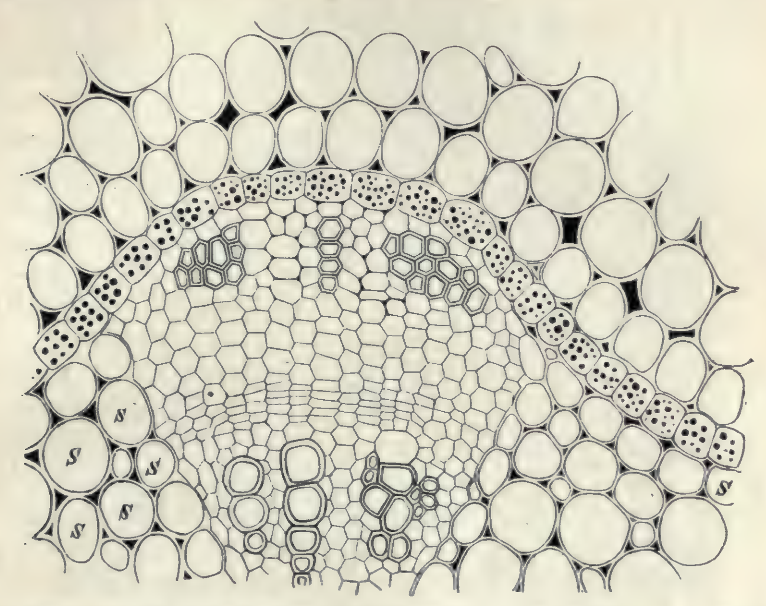


Fig. 316. Ricinus communis. Querſchnittsparthie eines Gefäßbündels vor der Verſchmelzung der Cambialſtreifen zum Cambiumring in der primären Keimaxe nach Sachs.

Das Zuſtandekommen jener Holzlagen geſchieht ſo: die Gewebe der primären Markſtrahlen gerathen nach einiger Zeit nach der Entfaltung des Zweiges aus dem Knoſpenzuſtand ebenfalls in den cambialen Zuſtand, ſo daß eine Ueberbrückung der Markſtrahlen ſtattfindet, nach welcher der ganze Kreis von einem Cambiumring umgeben iſt. Dieſe Gewebeſchicht functionirt periodiſch bei unſeren Waldbäumen, ſo daß die Markſtrahlen ſtetig in radialer Richtung weitergeführt werden.

Bei einer großen Anzahl von krautartigen Dicotylen bleiben die einzelnen Gefäßbündel, im Querſchnitt betrachtet, ſeitlich iſolirt. Ueberhaupt ſcheint dieſer Zuſtand ganz allgemein der Anfangszuſtand zu ſein. Dieſes Verhältniß iſt in der Figur 316, welche wir dem Lehrbuch von Sachs entlehnten, ſehr gut dargeſtellt. Die äußeren Zellen bis zu dem Gürtel, deſſen Zellinhalt punktirt iſt, gehören der primären Rinde an. Der Gürtel iſt der Stärkering, eine Zellenſchale, welche vorzugsweiſe der Translocation der

bäume. 505. 521. Bot. Ztg. 70. — N. J. C. Müller, Bot. Unterſ. Bd. I. S. 187 ff. — Wilh. Velten, Ueber die Entwickelung des Cambium und N. J. C. Müller's Ideen über dieſen Gegenſtand. 809. 825. 841. Bot. Ztg. 75. — Nördlinger, Holzquerſchnitte. Stuttgart. Cotta.

Kohlehydrate dient. Die auffällige Gruppe, welche allſeitig von dem Grundgewebe eingeſchloſſen iſt, beſteht aus drei Baſtbündeln, welche in der Nähe des Stärkeringes belegen ſind, und aus drei Bündeln von Tracheïden. Außerhalb dieſer liegt der aus wenigen Radialreihen beſtehende Cambialſtreifen, aus welchem ſoeben, in dem zur Rechten belegenen Bündel der Tracheïden, eine neue bis jetzt noch dünnwandige Tracheïde entſteht.

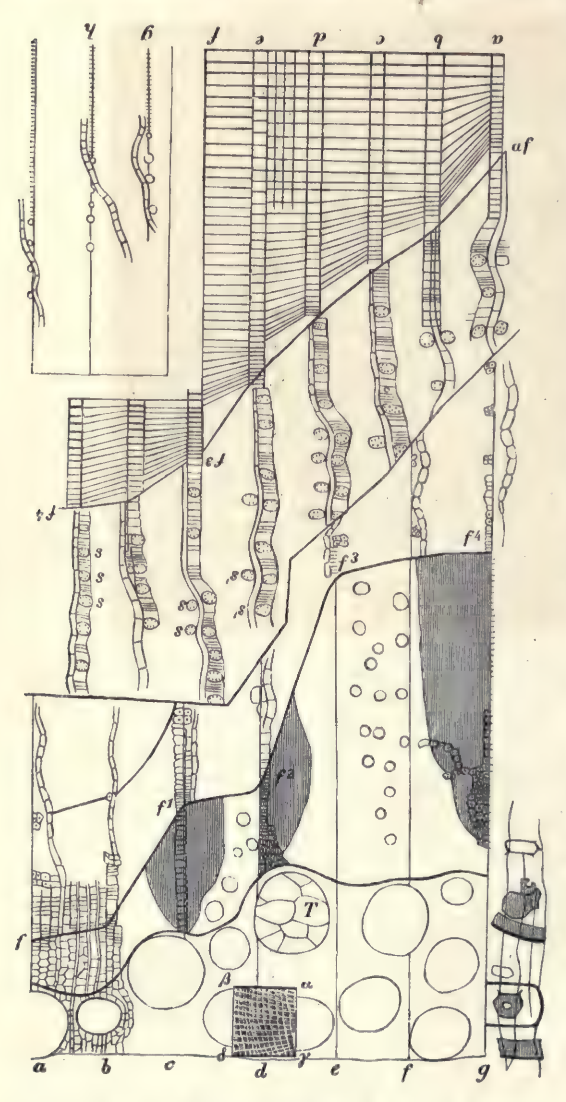


Fig. 317. Schema des Zuwachſes in radialer Richtung in Coordinaten als Function der Zeit für Eiche und Fichte. Auf die Abſciſſe *a* 20. Mai, *b* 4. Juni, *c* 20. Juni, *d* 4. Juli, *e* 19. Juli, *f* 4. Auguſt, *g* 18. Auguſt, *h* 3. September wurde der laufendjährige Zuwachs aufgetragen und die Ordinaten in der Curve *f* bis f^4 verbunden. Die beiden Curven wurden, um Raum zu ſparen, in einem Holzſchnitt verſchränkt, für die Fichte iſt von der oberen Seite her abzuleſen. *T* Thyllen im Eichengefäß. *s s'* die Stärke führenden Baſtparenchymzellen der Fichtenrinde.

Der Cambialſtreifen functionirt eine Zeit lang für ſich in jedem Bündel, iſt iſolirt, indem er die Baſtſtreifen in centripetaler, die Holzſtreifen in centrifugaler Richtung an Maſſe und Zellenzahl vermehrt. Endlich werden die ſeitlichen Zellen *s s* der Figur 316 überbrückt. Sie werden ſelbſt in Cambiumzellen umgewandelt. Dieſer Vorgang iſt, wie früher angedeutet, nicht verſtändlich, wenn nicht während dieſes Ueberganges in dem ganzen Organe noch Streckung herrſcht.

Die Vermehrung im Cambiumring.

Geht man vom Winterzuſtande aus, ſo iſt das Wachsthum als Function der Zeit zuerſt zu unterſuchen. Daſſelbe beginnt in unſerer Breite Ende April und endet im

Oktober. Die innere Rindengrenze wird in diesem Zeitraum um die Dicke des Jahrringes in centrifugaler Richtung fortgeschoben.

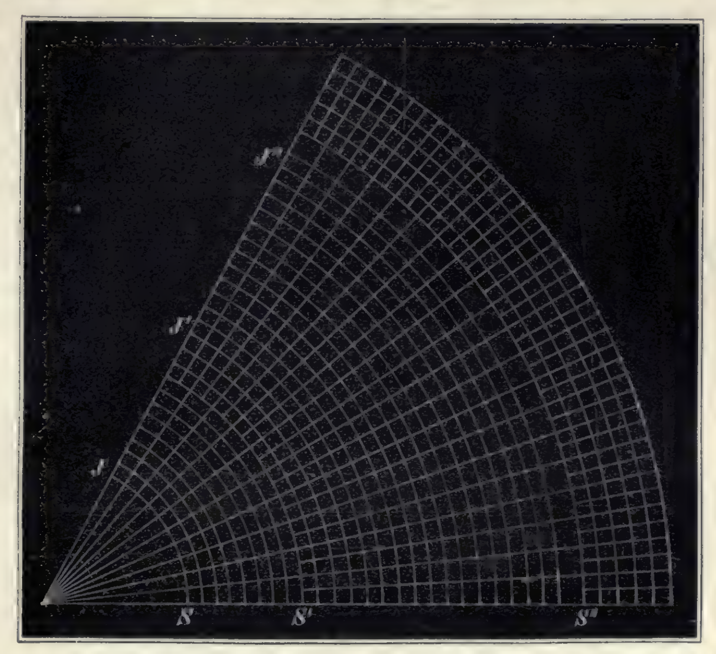


Fig. 318. Schema der einfachsten Theilung im Zuwachs eines Nadelholzstammes. J' S' erster, S'' J'' zweiter Jahrring streng radial geordneter Zellenketten, in welchen dieser Voraussetzung genügt ist, daß die tangentiale Ausdehnung der Zellenkette wächst, bis durch eine radial gestellte Wand zwei Zellen entstehen, jede von der Größe der ursprünglichen in J S.

In physiologischer Hinsicht haben die Holzelemente diese Bedeutung:

1° dient der Holzkörper der Befestigung des Systems während der Jahrzehnte langen Dauer;

2° leiten die Gewebe aufwärts das Bodenwasser;

3° leiten sie abwärts die Reservekörper, Stärke, Zucker, und es sind vorzugsweise die Markstrahlen und die Holzparenchymzellen, welche hier eine Rolle spielen[1]);

4° dienen die Holz- und Gefäßzellen der Durchlüftung.

Die Holzstructur ist gerade für die vortheilhafteste Leitung in der Längs- und transversalen Richtung eingerichtet (angepaßt).

Schema der Theilung.

In allen Cambien sind die Zellen in radialer Richtung reihenweise geordnet. Es herrscht die Theilung durch tangentiale Wände vor. Wie sehr diese Ordnung auch später in dem Holzkörper einerseits, in der Rinde

[1]) Sanio, Ueber die im Winter Stärke führenden Zellen im Holze.

andererſeits geſtört ſein mag, ſtets läßt ſich zeigen, daß die Zellen derſelben im Beginne radial geordnet waren. Es läßt ſich für den Querſchnitt der Wachsthumsvorgang auf das Schema, Fig. 318, zurückführen.

Die Ausdehnung der Zelle in tangentialer Richtung muß dadurch aber in den ſpäteren Deſcendenten außerordentlich wachſen, von *J* nach *J'* u. ſ. f., Fig. 318. Von Zeit zu Zeit wird daher eine Reihe in zwei übergehen und jedesmal, wenn eine Cambiumzelle dieſe Theilung vollführt hat, dauert dieſe fort für alle Abkömmlinge.

Hiebei aber iſt auf eines ſtreng zu achten. Die neuen radial geſtellten Wände *a' b*, *c' d*, *d' g*, Fig. 319, müſſen, damit die Verſchränkung der Spitzen *e*, *f*, *g*, in der Tangentialrichtung erhalten bleibe, nicht ſo geordnet ſein, wie dieß

Fig. 319. Schema der Theilung im Cambium durch radial geſtellte Wände. Zwei Formen ſind möglich: entweder zerfällt die ſtärker ausgezogene Zelle durch eine Wand *a' b*, welche die Mutterzelle genau halbirt, oder die neue Wand hat die Lage *g d'*, wodurch die Mutterzelle aſymmetriſch gehälftet wird.

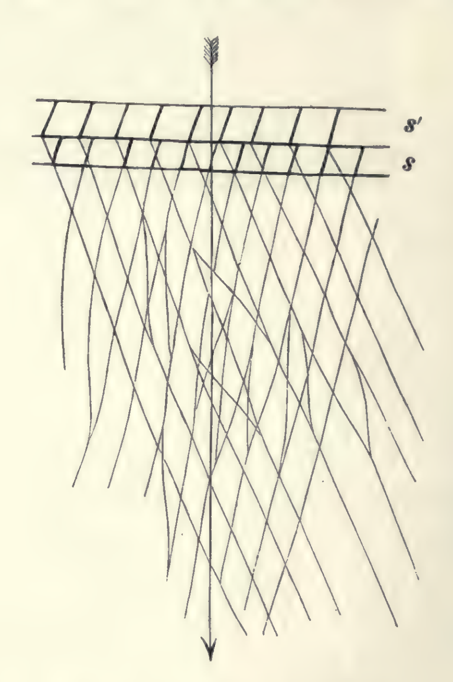


Fig. 320. Schema des Zellfaſerverlaufs im Schwammholz einer alten Weißtanne aus dem Thüringer Wald. Die Faſerreihe *s* läuft, bezogen auf die Pfeilaxe, von links nach rechts. In der Reihe *s'* iſt dieſe Richtung umgekehrt; *s s'* ſind Tangentialreihen.

Figur 319 zeigt, ſondern eine ſolche Wand ſchneidet jeweilig eine Zelle ab, welche, bezogen auf die Mutterzelle, geneigt ſteht gegen die Wände *w w'*.

Dieß wird durch das Schema Fig. 319 erläutert: möge die Ebene dieser Figur ein Tangentialschnitt sein, so rückt sie, entsprechend dem Schema, Fig. 318, in radialer Richtung fort, die Zellen *a, b, c, d* . . . *a' b' c'* . . . sollen aber verschränkt bleiben.

Geometrisch unverständlich bleibt aber dieser Fall der Bildung, wo in der Schale *s*, Fig. 320, die Faser von links nach rechts, in der Schale *s'* dieselbe von rechts nach links zur Axe geneigt steht.

Auftreten secundärer Markstrahlen.

Denken wir uns eine Cambialschale zur Zeit, wo der Cambiumcylinder geschlossen ist, in der Thätigkeit des Zuwachses und behandeln die stereometrischen Verhältnisse in einem ganz kleinen Element im Querschnitt, mit Zuhilfenahme der Figur 322, so werden in der Zone *C* in Richtung der beiden Pfeile durch stete Zelltheilung gewissermaßen die Zellen der Rinde und des Holzes abfließen, sich nachträglich differenziren, verschiedenartig verdicken und verschiedenartige Function hinsichtlich der Translocation über-

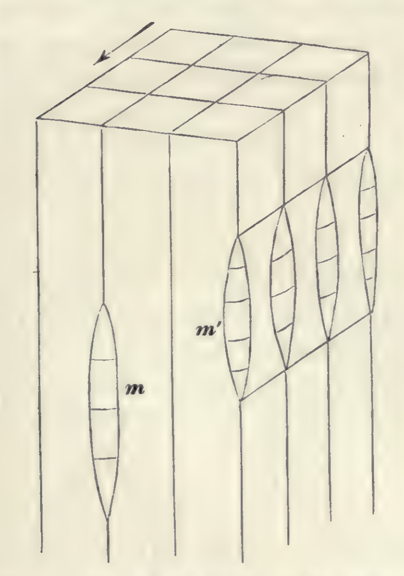


Fig. 321. Schema für die Bildung eines secundären Markstrahles.

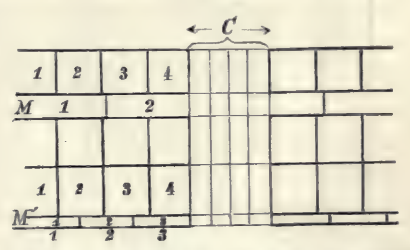


Fig. 322. Schema der Theilung in der Cambiumzone im Querschnitt. *C* Cambiumzone, von welcher aus mit den Pfeilen nach beiden Seiten neue Zellen abfließen. *1, 2, 3, 4* Holzzellen, *1* die ältere, *4* die jüngere.

nehmen; für das Holz würde die mit *1* bezeichnete Zelle die ältere, *4* die jüngere sein, umgekehrt ist die Altersfolge in der Rinde, bezogen auf den Ort der stets in Theilung begriffenen Zone *C*.

In der Zone *C* aber liegen auch die Zellen, welche den Zuwachs der Markstrahlen *M M'* besorgen; die Altersfolge der Zellen in diesen ist genau dieselbe, wie in den Holzzellen. Es muß aber, da in der Zone *1—4* in gleicher Länge auf eine größere Anzahl von Holzzellen eine kleinere Anzahl von Markstrahlzellen kommt, ein anderer Modus der Theilung im cambialen Theil von *M M'* herrschen.

Die Anzahl der Markstrahlen in einem gegebenen Querschnitt ist ur-

ſprünglich abhängig von der Anzahl der primären Gefäßbündel. Mit dem Heranwachſen der Dicke würden dieſe immer weiter divergiren, gerade ſo, wie die Radien des Schema Fig. 318. In Wirklichkeit nimmt aber in dem ſecundären Holz die Anzahl der ſecundären Markſtrahlen für die Längeneinheit in der Tangentialſchnittfläche zu. Es müſſen daher nachträglich in den Cambiumzellen neue (ſecundäre) Markſtrahlen entſtehen, gerade ſo wie wir in demſelben Schema der Theilung neue Radien einführen mußten, um die Zellen im Zuſtand mikroſkopiſcher Ausdehnung in ihrem Querſchnitt für alle Zeiten zu erhalten. Möge Fig. 321 die körperliche Anſicht einer kleinen Gruppe von Cambiumzellen ſein, welche in Richtung des Pfeiles den Zuwachs beſorgt, ſo ſcheidet ſich von einer ſolchen Zelle durch Theilung der Markſtrahl ab. Von jetzt theilt ſich das ganze Syſtem durch Tangentialwände. Damit wird für alle Zeit die Kette *m'* weitergewebt.

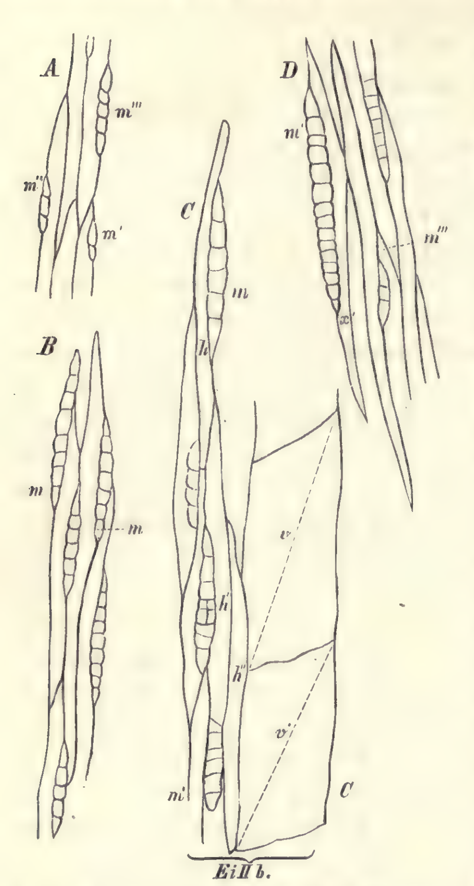


Fig. 323. Cambialparthieen aus der Eiche, Tangentialſchnitte. *v* Gefäß, *m* Markſtrahl, *h* Holzzelle.

Der Ort, wo die erſte Anlage des Markſtrahls auftritt, iſt ſelbſt in einem und demſelben Holze, bezogen auf die Geſtalt der ſpindelförmigen Holzzelle, ſehr verſchieden. Wir wählen als Beiſpiel die Eiche. Fig. 323 ſtellt tangentiale Durchſchnitte durch das Cambium dar. Der Markſtrahl *m'* in *A* kann in der Nähe der Spitze, in *m''*, *m'''* in der Mitte der Holzzelle abgeſchieden werden. Er kann in tangential transverſaler Richtung aus einer oder mehreren Zellen beſtehen. Aus dieſen Anordnungen laſſen ſich mikroſkopiſche Merkmale für die Unterſcheidung der Hölzer herleiten.

Erweiterung des Lumens und Jahrringgrenze.

Die geometriſche Forderung iſt dieſe. Es ſoll erklärt werden, wie das Schema der Theilung für ein Zuwachselement des Jahrringes *J J'*,

Fig. 325, übergeht in die Porenzone S', und wie gleichwohl ein ſpäteres Element, insbeſondere das letzte, in der Jahrringsgrenze wieder den Radialtypus annehmen kann.

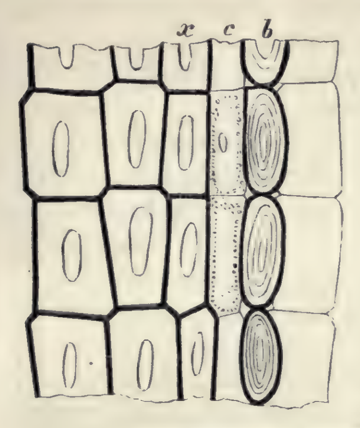


Fig. 324. Querſchnittsparthie durch das Aſtholz von Juniperus virginiana. *b* jüngſte Baſtzellenreihe. *c* die einzige Cambiumzellſchicht. *x* letzte Holzzelle in der Jahrringsgrenze.

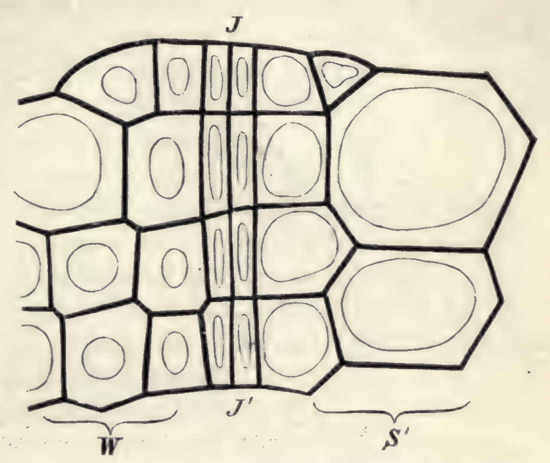


Fig. 325. Querſchnittsparthie durch die Jahrringsgrenze von Aesculus. *J* die Grenze zwiſchen zwei Jahrringen. *W* Winter-, *S'* Sommerholz.

Wiewohl man die Bildung des Jahrringes an unſeren Bäumen häufig genug in's Auge gefaßt hat, ſo gibt es doch bis jetzt keine abgeſchloſſene hiſtologiſche Entwickelungsgeſchichte, welche durch die ganze Vegetationsperiode hindurch den Gegenſtand im Auge behielt.

Selbſt über den morphotiſchen Werth der Cambiumzelle ſind wir nur ſehr nothdürftig unterrichtet.

Ich dehnte die Unterſuchungen über die Monate Mai bis September aus und wählte als Studienobjecte die Fichte und die Eiche. Im Monat Mai wurden aber noch mehrere Holzarten unterſucht, um über den hiſtologiſchen Theil der Aufgabe in's Klare zu kommen.

Die allgemeine Betrachtung der Hiſtologie des Jahrringes unſerer Bäume lehrt uns:

1⁰ daß die Vertheilung von Wand und Lumen der Röhrenelemente auf ein Coordinatenſyſtem zu beziehen iſt, deſſen z-Axe mit der Axe des Stammes, deſſen y-Axe mit dem Radius, deſſen x-Axe mit der Peripherie zuſammenfällt;

2⁰ daß der Anfangszuſtand jedes Röhrenelementes ein Prisma iſt, deſſen Querſchnitt in Richtung der y-Axe die geringſte Ausdehnung beſitzt;

3⁰ daß im Winter die Grenzſchicht zu dem fertigen Holzring des laufenden Jahres in dieſem Zuſtande verharrt;

4⁰ daß jeder Jahrring mit einer Schicht ſolcher Zellen endet, daß

ſomit jede Holzparthie, nachdem im Sommerholz ihre radiale Ordnung geſtört iſt, einmal wieder zu dieſer zurückkehrt;

5° die Evolution der großen Gefäße, welche den Radialtypus der Fichte in den Eichentypus verwandelt, geſchieht ſo, daß die Nachbarreihen zum Theil comprimirt werden, zum Theil collabiren.

Im erſten Falle können wir die Radialreihe noch verfolgen diesſeits und jenſeits der Gefäßzone, im zweiten Fall nicht;

6° je mehr der Radialtypus im Querſchnitt im fertigen Holz geſtört erſcheint, um ſo mehr iſt der Druck, welchen jede Zelle für ſich zurückzuſchieben hat, nach allen Richtungen der Transverſalebene gleich. Je mehr der Radialtypus vorherrſcht, um ſo mehr iſt der Druck, welcher überwunden wird, in Richtung des Radius vorherrſchend;

7° der Gefäßquerſchnitt iſt entweder ein Kreis, eine Ellipſe oder ein aniſodiametriſches Polygon.

Steht der große Durchmeſſer dieſer radial, ſo deutet dieß an, daß zur Zeit der Evolution der Widerſtand in Richtung des Radius kleiner, ſteht er tangential, ſo war der Widerſtand in der radialen Richtung größer. —

Mit Rückſicht auf dieſe Verhältniſſe und die Vertheilung der Markſtrahlen im tangentialen Längsſchnitt können wir für ein Flächenelement im Querſchnitte, welches von zwei Winterholzgrenzen und zwei Markſtrahlen eingeſchloſſen iſt, die folgenden Typen unter den bekannteren Hölzern unterſcheiden. Wir nennen den Ort, welcher dem Stamminnern in unſerem Elemente zugekehrt iſt, *S*, den Ort, welcher der Peripherie zugekehrt iſt, *W* (vergl. Fig. 325).

I. Die Gefäße oder Tracheïden herrſchen im Querſchnitte vor und ſind gleichmäßig vertheilt: der Druck in dem Proten, welches anfänglich in radialer Richtung die Zellenzahl vermehrte, hat in dieſem Typus ſein Maximum und muß in der ganzen Vegetationsperiode gleich ſein. Die radiale Anordnung iſt im fertigen Holz verwiſcht. Die Nachbarzellen der Gefäße und Tracheïden ſind collabirt. Die Jahrringgrenze beſteht aus 2—4 Reihen radial comprimirter und radial geordneter Holzzellen. Markſtrahlen zweierlei:

Gefäße im Lumen polygonal iſodiametriſch von *S* nach *W* wenig kleiner werdend. Fagus.

Gefäße im Lumen radial elliptiſch. Pyrus.

II. Die Holzzellen herrſchen vor. Der Druck, welcher die Evolution der anfänglich ſtreng radial geordneten Protene erweitert, iſt im Minimum:

1° der Uebergang aus den weitlumigen in die Elemente von engem Lumen von *S* nach *W* iſt ein plötzlicher oder allmäliger. Der Druck in der Evolution des Protens ſchwankt und ſinkt plötzlich oder allmälig.

Quercus, Ulmus, Fraxinus.

Holz mit unregelmäßigen Infeln von Holzzellen, welche durch auffällige Ketten im Winter ftärkeführender Holzparenchymzellen von einander gefondert find. Jahrringgrenze aus 1—2 Zellenreihen radial comprimirter Holzzellen beftehend. Radiale Anordnung verwifcht. Nachbarzellen der Gefäße auffälligft collabirt.

Uebergang aus den weitlumigen in die englumigen Elemente ein ganz plötzlicher.

Holzparenchym nur in der Schale, welche aus englumigen Elementen befteht. Zweierlei Markftrahlen. Quercus.

Holzparenchym auch in der Schale, welche die Gefäße enthält. Markftrahlen zweierlei. Ulmus.

Uebergang aus den weitlumigen in die engen Elemente ein allmäliger von *S* nach *W*. Markftrahlen einerlei. Fraxinus.

2⁰ der Druck, welcher die Protene zu Tracheïden oder Gefäßen erweitert, ift über die ganze Vegetationsperiode gleich. Die Größe des Lumens der genannten Elemente ift von *S* nach *W* gleich.

a) Die radiale Anordnung der Elemente im fertigen Holze ift deutlich. Jahrringgrenze durch 2—4 Reihen radial comprimirter Zellen kenntlich.

Lumen der Gefäße und Holzzellen deutlich radial elliptifch, Markftrahlen eine Zellenreihe von der Länge der Holzzelle, Nachbarreihe der Gefäße comprimirt. Salix.

Lumen der Gefäße radial elliptifch (polygonal), Markftrahlen bis zu fünf Zellreihen, fonft wie Salix. Betula.

b) Radiale Ordnung im fertigen Holze deutlich, Jahrringgrenze nur durch den Unterfchied in Lumen und Wandftärke zwifchen Sommer- und Winterholz kenntlich. Markftrahlen mehrreihig. Acer.

c) Radiale Ordnung der Elemente verwifcht, Gefäßlumen polygonal, ohne vorherrfchende Richtung in der Ausdehnung, Nachbarreihen nicht collabirt. Jahrringgrenze durch 3—4 Reihen radial geordneter und radial comprimirter Zellen kenntlich. Tilia.

Die Disgregation großlumiger Zellen aus dem fogenannten Cambium fetzt eine beträchtliche Spannung voraus, welche auf die Frühlingsperiode befchränkt (z. B. Eiche), oder aber über die ganze Sommerperiode ausgedehnt fein kann (Buche).

Differenzirung in centrifugaler Richtung. Die Rinde[1]).

In der vorftehenden Abhandlung der in dem Jahrring fich abfpielenden Vorgänge wurden die Vorausfetzungen gemacht:

[1]) Vorzügliche Studienobjecte find die Stammrinden von Juniperus virginiana, Fig. 326, Picea, Abies, Pinus, Wellingtonia gigantea! Weide, Eiche, Ulme!

1⁰ die Elemente, welche ſoeben in der Zuwachszone entſtehen, ſind im Beginne plaſtiſch;

2⁰ die ungleiche Erweiterung im Lumen an anfänglich gleich großen Zellen iſt Folge eines vom Zellinhalt auf die Wand ausgeübten Druckes.

In der Rinde iſt der Zuwachs auch wie im Holz periodiſch. Die Zuwachsſchalen laſſen ſich aber meiſtens nicht abzählen. Unterſuchen wir in der einfachſten Rinde bei den Picea- und Pinusarten die Zuwachsſtelle C,

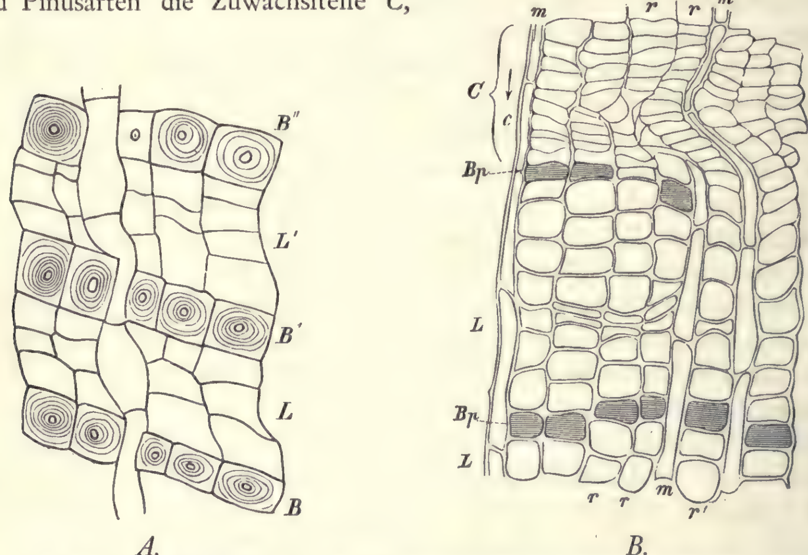


Fig. 326. *A.* Kleine Querſchnittsparthie aus der Stammrinde einer Wellingtonia gigantea. *B* Baſtzelle. *L* Leitzelle. *B.* Kleine Parthie aus der Zuwachszone der Fichte im Juni. *C* das Cambium. *m* Markſtrahl. *Bp* Baſtparenchym. *L* Leitzellen.

Fig. 326 *A*, ſo finden wir die jüngſten Elemente radial geordnet, ſie differenziren ſich in Richtung der Pfeile, nach dem Pfeil *c* differenzirt ſich die Rinde.

a) Aus der Abbildung geht hervor, daß in dem laufenden Jahre in der kleinen Partie in tangentialer Richtung neu entſtanden ſind aus den Ketten *r, r'* (oberer Rand der Figur) die Ketten *r r, m r'*, d. h. es iſt vom April bis Juni in der kleinen Partie eine neue Radialkette von Zellen und ein neuer ſecundärer Markſtrahl entſtanden.

b) In transverſal-radialer Richtung iſt die ſecundäre Rinde periodiſch geſchichtet. Die Zellenpartie *C* im jeweiligen Zuwachs differenzirt ſich in Röhrenelemente und quergefächerte Zellen. Die Röhrenelemente werden zu Baſtzellen *B*, wenn ſie ihre Wand beträchtlich verdicken, oder zu Leitzellen.

Man kann folgende Typen im Rindenbau unterſcheiden:

1⁰ Baſtzellen fehlen: Fichte, Tanne, Kiefer; in radialer Ordnung folgen periodiſch *B p, L, B p, L,* wo im Allgemeinen in einer Radialreihe *B p* nur durch eine, *L* aber durch zahlreiche Zellen vertreten iſt;

2⁰ Baſtzellen, Baſtparenchym und Leitzellen wechſeln periodiſch, *B, Bp, L*; *B, Bp, L* u. ſ. f., Fig. 328; die Baſtzelle immer allein, die übrigen zahlreicher in einer Periode (Juniperus virginiana). In ganz alten Stämmen ſinkt die Neubildung für ein Jahr auf die Anlegung von einer einzigen Baſtzelle, einer einzigen Leitzelle und einer einzigen Lage von Baſtparenchym herab (nach Angaben TH. HARTIG's).

Im Allgemeinen läßt ſich aus den hiſtologiſchen Perioden *B, B p, L* nicht das Alter ſo abzählen, wie im Holz, weil in einem Jahre dieſe Periode ſich mehrfach wiederholen kann.

3⁰ Der dritte Typus iſt dadurch ausgezeichnet, daß in radialer Richtung vielzählige Gruppen von *L, B p, B* u. ſ. f. abwechſeln (Fig. 327, die Ulme als Paradigma). Die radiale Kettenanordnung iſt häufig verwiſcht. So verhalten ſich viele der einheimiſchen Waldbäume.

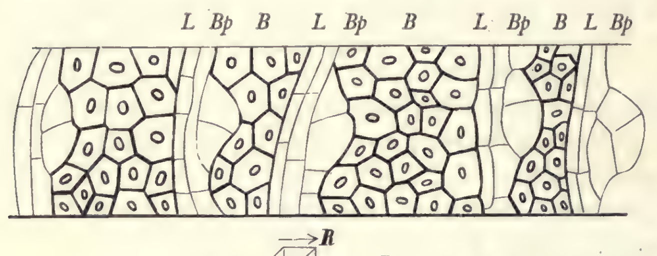
c) Im Allgemeinen herrſcht gar keine Beziehung zwiſchen der Anzahl der Jahrringe im Holz und der Anzahl der Baſtbündel in der Rinde, wie die nachfolgenden Abzählungen an verſchieden alten Zweigen beweiſen:

Alter.				Zahl der Baſtbündel.	
Eiche	1—2 Jahre			1	Baſtbündel.
«	15	«		2	«
«	23	«		7	«
Linde	Knoſpenaxe			1	«
«	1 jähr. Zweig			3	«
«	2	«	«	11	«
«	5	«	«	17	«
«	7	«	«	19—20	«
«	10	«	«	33	«
Eiche	1	«	«	1	«
«	2	«	«	2	«
«	7	«	«	5	«

Es geht aus den Zählungen hervor, daß betreffs des Zuwachſes an in radialer Richtung durch Leitzellen und Baſtparenchym getrennten Baſtgruppen keine ſtrenge Beziehung beſteht. Bei der Eſche werden weniger wie eine im Jahr, bei der Eiche werden fünf auf ſieben Jahre, bei der Linde bis zum zehnten Jahre im Durchſchnitt drei Baſtperioden für einen Holzjahrring

ausgebildet. Auch an Stammrinden der Eiche (80—100 Jahre alt) fand ich oft zwei Baſtperioden in einem Jahre.

d) Bei der unausbleiblichen Compreſſion der Rinden werden die Baſtgruppen wegen ihrer großen Feſtigkeit gar nicht, die Leitzellen aber vollſtändig collabirt; die Baſtparenchymgruppen nehmen in Folge der osmotiſchen Spannung an Volum zu (ſ. § 38 B unten).



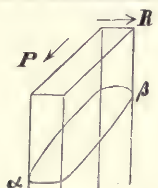


Fig. 327. Kleine Querſchnittsparthie aus der Ulmenrinde zwiſchen zwei Markſtrahlen. *B* Baſtzelle. *Bp* Baſtparenchym. *L* Leitzellen. Die ſiebförmig durchbrochene Querwand der Leitzellen α β ſteht in der Richtung der Peripherie *P* zur Axe der Zelle geneigt.

Man beachte hier die ſo außerordentlich regelmäßig gebaute Wellingtonienrinde, Fig. 326 *B* [1]). Dieſes Gewebeſtückchen mußte Jahrhunderte lang einem Druck folgen, welcher zwei der rechteckig verzeichneten Baſtzellen in tangentialer Richtung auseinander trieb. In Richtung *B B''* aber wurden die Theilchen ſtetig genähert.

Für die Theorie der Ernährung ergeben ſich dieſe Sätze: Die Leitzellen functioniren an dem Baum nur kurze Zeit, werden in centripetal vorſchreitender Richtung collabirt, häufig zu faſt ſtructurloſen Bändern. Die Baſtparenchymzellen dienen der Leitung länger, nehmen in centrifugaler Richtung an Volum zu. In gleichem Sinne verhalten ſich die Rindenmarkſtrahlen.

Zeitpunkt des Rindenreißens.

Die Rinde iſt vom Winter ab nach den erſten Monaten der Sommerperiode Mai, Juni waſſerreicher, wie im Juli, Auguſt u. ſ. f. Sie iſt in dieſem Zuſtande dehnbarer, erträgt den Zug, welcher durch den Zuwachs auf ſie ausgeübt wird, in den erſten Wochen der cambialen Thätigkeit; ſpäter aber, wenn ſie namentlich in den peripheren Lagen trocknet, reißt ſie jedenfalls von außen nach innen zu, allmälig ein, oder es wird der etwa bereits beſtehende Borkenriß erweitert. Dieſe Erweiterung der Riſſe iſt nicht ein ſtetiger, ſondern periodiſcher Vorgang. Um die Zeitgrenzen zu ermitteln, innerhalb welcher das Reißen, beziehentlich die Erweiterung vorhandener Borkenriſſe erfolgt, wurden an Pappeln und Robinien in 14tägigen

[1]) Das Präparat ſtammt aus einem 1/2 m dicken Rindenabſchnitt eines der californiſchen Rieſenbäume, deren Alter auf über 2000 Jahre angegeben wird.

Intervallen Abdrücke einer beſtimmten Rindenparthie gemacht. Die ſo erhaltenen Matrizen wurden mit Gyps ausgegoſſen. Fig. 329 ſtellt ſolche Abgüſſe dar. Die Rinde reißt zwiſchen dem 15. Juni und dem 15. Juli, und es wurde für einen Sommer die Erweiterung eines Borkenriſſes *a b* von 11 mm auf 21 mm erwieſen.

Im Spätſommer beſitzt die Baumrinde Feſtigkeit genug, um den Zuwachs des Druckes zu ertragen. Hieraus entſpringt, wie ſpäter darzuthun iſt, die Spannung, welche die zuletzt entſtehenden Zellen im Holze in der Jahrringsgrenze auf einem kleineren Volum zurückhält.

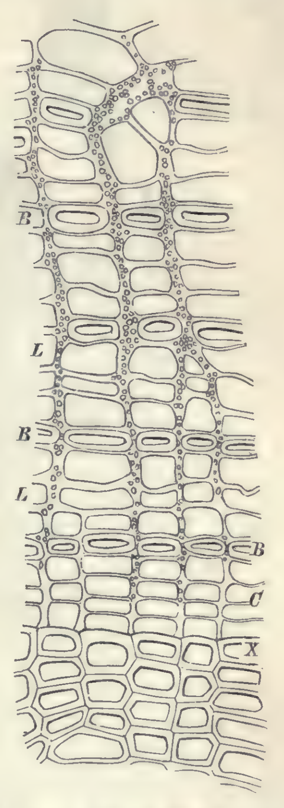


Fig. 328. Querſchnittsparthie durch Rinde, Cambium *C* und Holz *X* des Juniperus virginiana. *L* Leitzellen *B* Baſtzellen. Nach Solms-Laubach, Bot. Ztg. 1871.

I. Vertheilung über Wurzel, Stamm, Zweig, Blatt.

In dem Zeitraum vom April bis October legt ſich der Jahrring über das ganze Baumſyſtem von der äußerſten Wurzel bis zur äußerſten Stammauszweigung. Hier iſt zu beachten, daß die Einfügung der Seitenzweige an den verſchiedenen Organen verſchieden iſt. Wurzel, Stamm, Zweig werden dem obigen Geſetze im Allgemeinen folgen, das Blatt aber nur, wenn überhaupt, in ſeinem Stiele, dafern dasſelbe mehrjährig iſt.

1. Wurzeleinfügung[1]).

Mit Ausnahme der Selaginella und der Lycopodium entſtehen die ſeitlichen Auszweigungen der Wurzeln aus adventiven, die Wurzelrinde durchbrechenden Knoſpen, Fig. 330. Im weiteren Verlauf der Entwickelung der Adventiv-Wurzeln entſtehen die primären Gefäßbündel, welche an das Gefäßbündelſyſtem der tragenden Wurzel Anſchluß haben. Die Jahrringe der Baumwurzeln unſerer periodiſch functionirenden Waldbäume ſind über das Auszweigungsſyſtem ſo geordnet, wie im Stamme.

2. Periodisch beblätterte Stämme.

Der Stamm ſetzt ſich aus Hohlkegeln von Jahrringen zuſammen, je eine ſpätere Jahreszuwachsſchale überragt das vorhergehende Convolut um

[1]) Dodel, Der Uebergang des Dicotylenſtengels in die Pfahlwurzel. Pringsh. Jahrb. VIII. S. 149.

die Länge des Jahrestriebes. In jedem Aste der ersten, zweiten u. s. f. Ordnung gilt dasselbe.

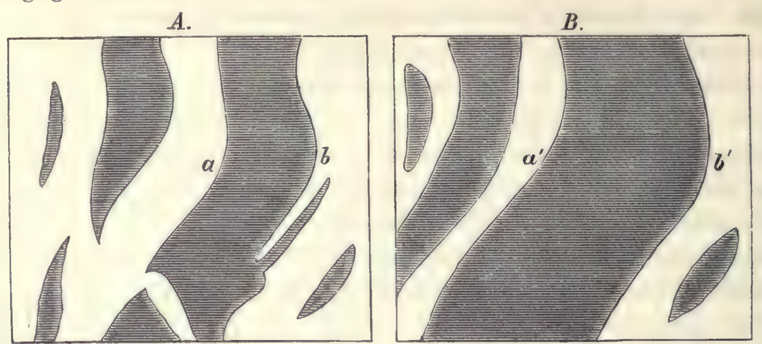


Fig. 329. Die Rindenrisse sind schraffirt dargestellt nach Gypsabgüssen, welche an einem Robinienstamm in mehreren Zeitpunkten des Sommers hergestellt wurden. *A.* vor der Erweiterung der Risse, *B.* nach derselben.

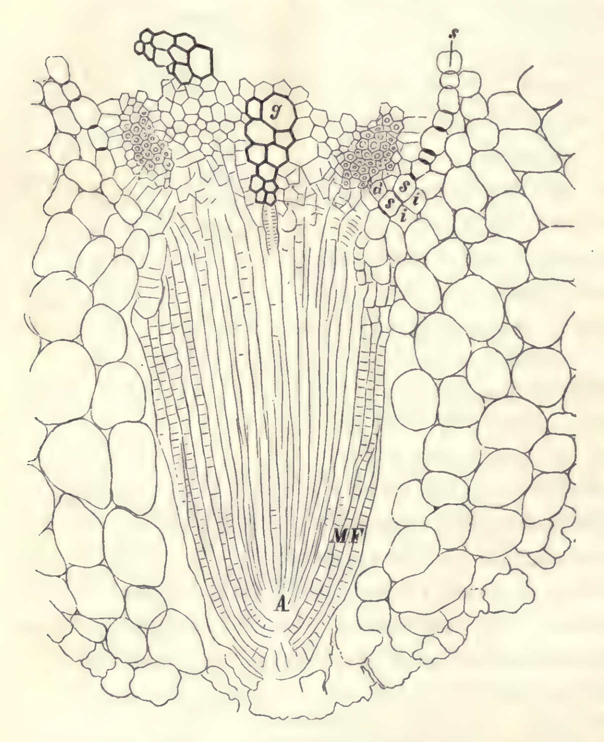


Fig. 330. Phaseolus vulgaris. Basaltheil der Hauptwurzel einer jungen Keimpflanze, die Wurzel ist noch in dem Parenchym der Rinde eingeschlossen. *s s* die Schutzscheide. *g* Gefäßbündel im hypocotylen Stengelglied. *i i* innerste Zellenlagen der Rinde.

Es möge die Fig. 331 ein Schema des Baumdurchschnittes in der Länge sein, *Aa* das Mark, rechts die Convolute der Jahresringe. In den ersten Jahren ist bei *a* ein Ast entsprungen, welcher, eine Zeit lang mit dem Schaft *A* gleichen Schritt haltend, mitwächst, so daß sein Convolut mit dem Convolut des Schaftes communicirt.

Durch den Mangel an Licht, allgemein durch den Mangel der Bedingungen, welche im Anfange herrschten, stirbt der Ast *a ab*. Die nun folgenden Convolute des Stammes gerathen außer Continuität mit denjenigen des Astes. Der Ast wird eingeschlossen. Nach zehn Jahren möge der Ast *b* entstanden sein, welcher nach der Evolution der Krone dauernd dominirt. Ein solcher

Aſt trocknet ſchon im erſten Jahre, nachdem er die Perioden ſeiner jährlichen Verjüngung eingeſtellt hat. Hieraus ergibt ſich als erſtes und Hauptmoment der Leitung: der jährliche Zuwachs (ſ. weiter unten, achter Abſchnitt).

3. Immergrüne Blätter.

In immergrünen Blättern muß offenbar der Blattſtiel, welcher die Translocation von und nach der Blattfläche vermittelt, periodiſchen Zuwachs zeigen. Ein cambialer Cylinder umgibt dort den Querſchnitt der im Kreis ſtehenden Gefäßbündel. Jahrringe kommen gleichwohl bei den immergrünen Rhododendren nicht vor. Bei Hoya carnoſa mit 5—6 jährigem Blatte herrſcht ein periodiſcher Zuwachs in dem Blattſtiele, die Jahreszuwachſe ſind aber als Holzringe nicht kenntlich.

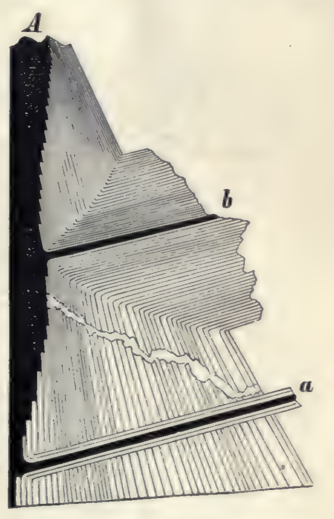


Fig. 331. Schema zur Demonſtration des Trockenaſtes und des dominirenden Aſtes. Radiallängsſchnitt durch einen Baum der gemäßigten Zone. Der Trockenaſt *a* ſoll im zweiten Jahre entſtanden, zwei Jahre mitgewachſen, dann abgeſtorben ſein, der dominirende Aſt *b* iſt im zehnten Jahre entſtanden und bis zum 45. Jahre mitgewachſen. Denkt man ſich den Stamm in's dritte Jahr zurück, ſo iſt, das Abſterben von *a a* vorausgeſetzt, nicht einzuſehen, warum *a a* ein Trockenaſt wird, wenn der Kettenbewegung des Waſſers (Imbibition) irgend welche Bedeutung zukommt.

4. Ruhende Knospen.

Eine große Anzahl der Laubknoſpen kommt nicht zur Entfaltung. Es ſind insbeſondere ganz niedrig differenzirte und ſehr kleine Axillarknoſpen der Nebenblätter der Cupuliferen, der Salices u. a. m., welche früher oft in mikroſkopiſch kleinem Zuſtande, geſchützt durch Niederblätter, plötzlich erwachen, an dem aſtloſen Stamme Laubblätter entfalten, im Allgemeinen aber unter dem Kronendach des Baumes nicht mehr erſtarken. Der Stammtheil ſolcher Triebe wächſt nur ein oder zwei Jahre in die Länge, bald geht die Knoſpe ohne Deſcendenten ein, und der gebildete Zweig bildet an jeder Hochwaldbuche[1]) bis 2—3 cm große Knöllchen, welche periodiſch in die Dicke wachſen und oft bis zu 10—20 cm und mehr Durchmeſſer erhalten. Solche Gebilde nennt der Holzkundige die Kropfmaſern (vergl. Fig. 332).

II. Stamm und Zweig (Faſerverlauf)[2]).

Gerade die Verbindungsſtelle zwiſchen zwei Aeſten, von welchen der eine der tragende *F F'* ſein möge, der andere der Zweig der nächſten

---

[1]) Buche und Hainbuche, ſeltener Eiche und außerordentlich ſelten die Nadelhölzer.

[2]) M. Kienitz, Aufaſtung der Waldbäume. Allg. Forſt- u. Jagdzeitung von G. Heyer. X. Bd. 2. Heft. Supplemente.

Ordnung, iſt von einigem Intereſſe in Bezug auf den Verlauf der Holzfaſer. Die Ebene *F F'*, Fig. 333, ſoll eine Tangentialebene des tragenden Aſtes darſtellen und die Schraffirung ſoll den Verlauf der Faſern demonſtriren. *A* ſoll die Projection des Zweiges, *c* deſſen Spitze ſein, ſo verläuft die größere Anzahl der Faſern auf einem Umweg aus dem Mantel des gegebenen Jahrringes im tragenden Zweig in den getragenen. Aus dem aufſteigenden Büſchel Faſern *b b*, Fig. 333, gehen die meiſten von der Seite und oben in den Zweig, ein kleiner Theil von unten in medianer Richtung *m*. Alle im tragenden Aſte abwärtsläufigen Faſern *C S* gehen um den getragenen Zweig herum, bis ſie parallelläufig mit den Faſern *F F'* des tragenden Aſtes werden.

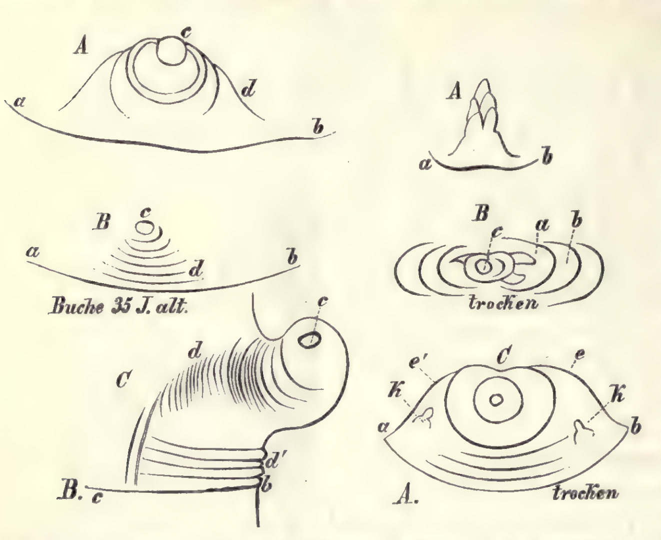


Fig. 332. Abgeſtoßene Aeſte und Kropfmaſern der Buche. *C* die Bruchfläche, *a b* die Ringfalte am Stamm, *c d* die Seitenfalten, *K* ruhende Knoſpen aus der Achſel der Nebenblättchen.

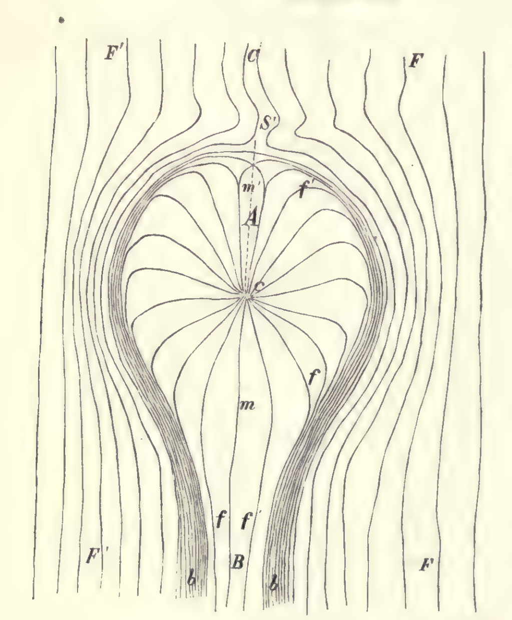


Fig. 333. Faſerverlauf für einen Jahrring in der Tangentialfläche des tragenden Aſtes und für die Projection *c A* des getragenen, nach Kienitz.

Möge *A*, Fig. 334, die tragende Axe, *a* der Zweig der nächſten Ordnung ſein, welcher abgeſtorben iſt, und es möge ſenkrecht zu *c b* nach allen Richtungen die ſecundäre Holzbildung fortſchreiten, ſo iſt leicht erſichtlich, daß, wenn in *A* dieſer Vorgang herrſcht, in dem Winkel *c b d* die Faſern verſchoben werden müſſen. Es fehlt an Raum. In dem ſtumpfen Winkel *a b e* wird dieß wohl ebenſo

ſein, die Verkürzung *d b*, *e b* zu *d' b'*, reſp. *b' e'* aber iſt eine viel allmäligere.

In dem Aſtwinkel, Fig. 334, ſtauen ſich gewiſſermaßen die Faſern. Unſere Fig. 334 *B* zeigt in den Pfeilen α die herabkommenden Faſern. In *f*, *f'*, *f''* ſind dieſelben mannigfach gekrümmt, laufen ſchließlich horizontal.

«Weniger einfach iſt der Verlauf, wenn nicht nur der Stamm, ſondern auch der noch lebende Aſt jährlich eine neue Zuwachsſchicht anlegt, welcher Fall in Fig. 334 und 337 ſchematiſch dargeſtellt iſt. Die Fig. 334 *B* zeigt einen ſenkrechten Längsſchnitt durch die Axen des Stammes und des Aſtes. Im Stammtheile unter der Anheftungsſtelle, etwa in *B*, verlaufen alle Faſern in gleicher Richtung, weiter oben, dicht vor dem Winkel *B* dagegen theilen ſich dieſelben; ein Theil geht über in den entſprechenden Jahresring des Aſtes *A*, ein anderer wendet ſich um den Aſt herum und biegt in *F F' F''* u. ſ. w. zum erneuten ſenkrechten Verlauf im ſcharfen Winkel nach oben. Da nun nicht allein die untere Hälfte der Aſtfaſern *f f*, ſondern auch die obere Hälfte *f' f'* nur in den unteren Theil des Stammes übergeht, ſo müſſen auch dieſe Faſern *f' f'* um die bereits angelegten Theile des Aſtes herumgehen, bevor ſie ihren Verlauf in der Längsrichtung des Aſtes nehmen, wie dieß auf Fig. 333 erſichtlich iſt.»

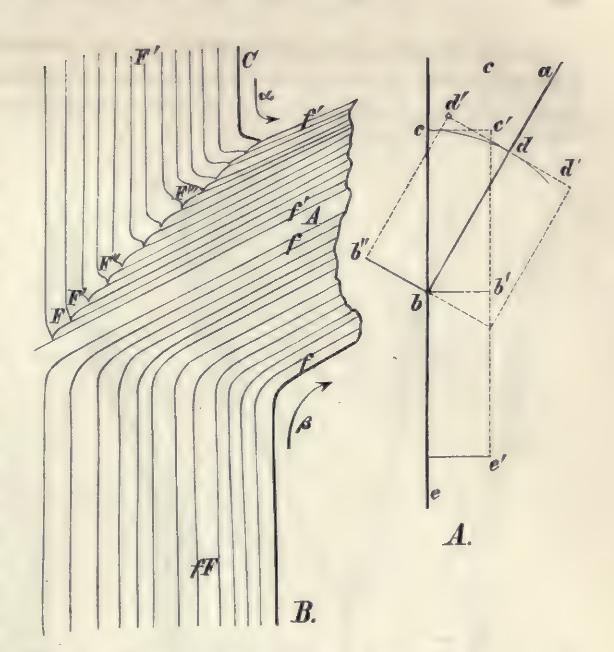


Fig. 334. Schema des Faſerverlaufes vom Stamm nach dem Aſt, nach M. Kienitz[1]). *A.* Schema der räumlichen Lage, *c b e* die tragende Axe, *a b* der Aſt. Wächſt der Stamm, ſo daß ſeine Peripherie von *c b* nach *c' b'* verſchoben wird, ſo wird im Aſtwinkel *d b* nach *d' b''* zu gelangen beſtrebt ſein. *B.* Durchſchnitt durch die Einfügung des Aſtes in den Stamm. Die Faſern *F*, welche mit dem Pfeil β aufſteigen, treten in den Aſt ein. Die abſteigenden Faſern *F'* aber biegen mit dem Pfeil α um den Aſt herum (vergl. Fig. 333).

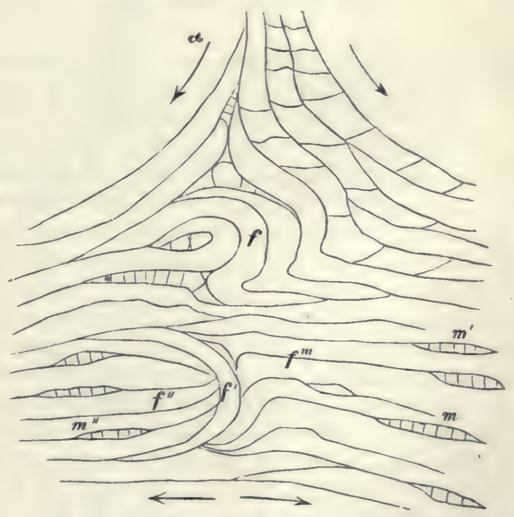


Fig. 335. Tangentialſchnitt bei *S'* Fig. 333 im oberen Aſtwinkel; die mit α herablaufenden Faſern vielfach verſchlungen biegen mit den unteren Pfeilen ſich nach rechts und links ſcheitelnd um den Aſt.

---

[1]) M. Kienitz, Forſt- und Jagdzeitung. 1877.

«Die Fig. 333 bedeutet die Projection des Aftes auf feine Grundfläche; *c* ift alsdann die Spitze des Aftes, und die Strahlen *cf*, *cf'*, welche hier radial geftellt erfcheinen, entfprechen den Fafern, welche in einer peripheren Kegelfchale des fo projicirten Aftes, alfo im äußerften Jahrring desfelben verlaufen.

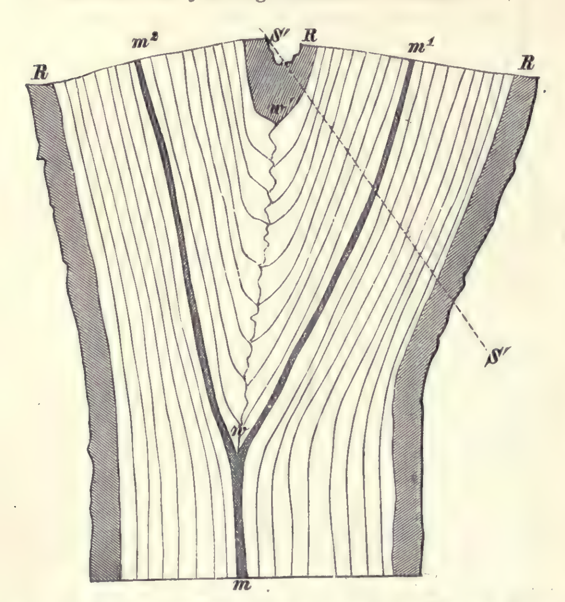


Fig. 336. Schema des Faferverlaufes in zwei Gabeläften der Eiche. m^1 m^2 das Mark der Aefte. *w w'* die Berührungsftelle der Fafern. Durch die größere Anhäufung im Aftwinkel wird diefer aus einem fpitzen *w* allmälig zu einem ftumpfen *w'*. Die Fafern biegen um die Linie *w w'* fich fcheitelnd nach abwärts.

Es folgt hieraus, daß in dem Punkte *m'* (d. h. am oberen Aftwinkel) die Fafern des Aftes von rechts und links zufammentreffen müffen, in ähnlicher Weife, wie die Fafern des Stammes in dem dicht darüber liegenden Punkt *S'*. Aus diefem im oberen Aftwinkel ftattfindenden Zufammentreffen der in verfchiedenen Richtungen verlaufenden Fafern ift es zu erklären, daß in dem Winkel der Raum für fämmtliche Neubildungen nicht ausreicht, weil der Scheitelpunkt von Jahr zu Jahr nicht nur nach außen, fondern auch nach oben vorrückt.»

In der That wird in den meiften Fällen eine wulftartige Ausbauchung durch ein Ausbiegen der Stammfafern nach der Richtung des Aftes veranlaßt. Befonders auffallend ift diefer Wulft in der Regel, wenn das Wachsthum des Stammes bedeutend das des Aftes überwiegt. Es wurde verfucht, diefes Verhältniß in der Fig. 334 *B* darzuftellen. An dem unteren Winkel tritt die Wulftbildung langfamer auf, weil die normal zur Faferrichtung ftattfindende Verdickung einen größeren Wulft zu bilden pflegt, daher an der Unterfeite der Aefte allmälig in den Stamm verläuft. Ift die Größe des Zuwachfes in Aft und Stamm annähernd gleich, fo bildet fich kein einfeitiger Wulft im Aftwinkel, aus dem Grunde, weil die Zuwachsfchichten beider Theile einen annähernd gleichmäßigen Druck auf einander ausüben; doch entwickeln fich die Jahresringe im Aftwinkel weit mächtiger, als an jedem anderen Punkte, wodurch der urfprünglich fpitze Winkel der beiden Axen in einen immer ftumpferen übergeht (Fig. 336 in *w'*). Verfolgen wir im Anfchluß an diefe Betrachtungen den Verlauf der Fafern in einer Aftwundfläche, die fo dicht am Stamm liegt, daß fie einen Theil des Wulftes oder Aftanlaufs aufnimmt. *S S'* ift der durch diefen Wulft und den Aft geführte Schnitt, welcher in Fig. 336 in feiner Fläche fchematifch dargeftellt ift. In diefem Schnitt find fämmtliche in den Aft verlaufende Fafern zwifchen *g g'* (Fig. 337) quer durchfchnitten, in einer Richtung, die fich mehr oder weniger dem rechten Winkel nähert. Die außerhalb des Kreifes *g g'* liegenden Fafern gehören dem Wulft an. Sie werden in verfchiedenen Winkeln zu ihrer Längsrichtung vom Schnitt getroffen, die um fo flacher find, je näher die Fafer dem Rande der Wunde liegt, bis fchließlich in den Theilen des Wulftes, welche fich nur wenig aus der Stammfläche hervorheben, der Schnitt mit der Längsrichtung der Fafern zufammenfällt. Bei mikrofkopifcher Abmufterung der Wundfläche

zeigen daher alle Theile des Aſtes das Bild eines Holz-Querſchnittes. Daſſelbe Bild gewährt auch noch der dem Aſt zunächſt liegende Theil des Wulſtes am oberen Aſtwinkel (über g in Fig. 337 *a*); von hier aus nach allen Seiten geht das Bild in das des tangentialen Längsſchnittes über. Daß der Verlauf der aus mehreren Richtungen zuſammenſtrömenden Faſern nicht immer ein ſo regelmäßiger ſein kann, wie ihn die ſchematiſche

Fig. 337. Schema des Faſerverlaufes in einer in der Stammfläche liegenden Aſtwunde. *a* Flächen-, *b* Seitenanſicht, g g' Querſchnitt des Aſtes, w w' Aſtanlauf, Aſtwulſt, F Faſern im Holz des Stammes, S S' Seitenanſicht der Schnittfläche, welche in *a* um 90° gedreht dargeſtellt iſt (nach M. Kienitz a. a. O.).

Zeichnung Fig. 337 *a* darſtellt, iſt einleuchtend, namentlich treten die verſchiedenartigſten Verſchlingungen im oberen Aſtwinkel auf. Ein Bild davon liefert die mikroſkopiſche Fig. 335, welche ein Stück einer Fichtenaſtwundfläche aus der in Fig. 337 mit α β γ δ bezeichneten Gegend darſtellt. Der Faſerverlauf iſt übrigens in den Wundflächen ſchon ohne Zuhülfenahme des Mikroſkops, namentlich

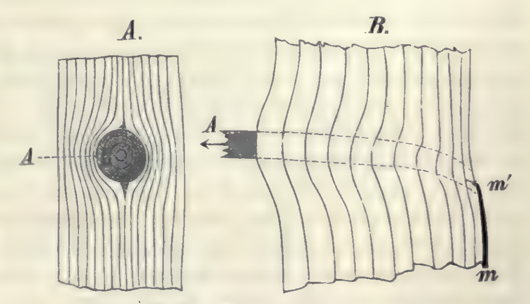


Fig. 338. Schema des Faſerverlaufes aus dem Stamm in den Trockenaſt bei der Fichte. *A.* Tangential-, *B.* Radialſchnitt.

leicht bei der Fichte zu erkennen. Flüſſige Farbſtoffe (Anilin) ſaugt der innere Theil der Wunde, der eigentliche Aſtquerſchnitt, begierig auf, während dieſelben in den dem Aſtanlauf angehörenden Theil der Wundfläche langſamer eindringen.

Bei den Nadelhölzern allgemein läuft die Faſer der Jahrringe um den Aſt, ohne Continuität mit den Faſern desſelben, Fig. 338 *A*. In der Figur 338 *B* entſpringen alle Faſerelemente des Aſtes *A* in *m* der Jahrringzone, in welcher der Aſt entſtanden iſt.

Faſerverlauf im Stamm.

Dieſes Verhältniß unterliegt einer Geſetzmäßigkeit, welche ohne eingehendes Studium der Phyllotaxis nicht zugänglich iſt (es wird abgehandelt in der Allgem. Morphologie, Bd. II, § 12 B 2).

---

§ 33. Grenzen der Reproduction[1]).

Wir unterſuchen hier die Neubildung in Folge von Verwundungen durch künſtlichen Eingriff. In erſter Linie iſt hier zu beachten, daß jeder unbegrenzt wachſende Pflanzentheil dahin kommt, daß er ſeine peripheren Gewebeſchichten ſelbſt verwundet, wenn dieſe ein begrenzteres Wachsthum zeigen, wie das Volum, welches ſie einſchließen.

Unbedingt gilt dieß für die Epidermis an allen verholzenden, lang-

---

[1]) GÖPPERT, Beobachtungen über das ſogenannte Ueberwallen der Tannenſtöcke. 1842. Bonn. Henry u. Cohen. Ueber die Ueberwallung der Tannenſtöcke. 505. Botan. Ztg. 46. — Dr. TH. HARTIG, Folgen der Ringelung an Nadelholzäſten. 286. Bot. Ztg. 63. Folgen der Ringelung an einer Linde. 286. Bot. Ztg. 63. — RUDOLPH STOLL, Ueber die Bildung des Callus bei Strecklingen. Bot. Ztg. 74. — N. J. C. MÜLLER, Bot. Unterſ. Bd. I. S. 192 u. 199. — M. KIENITZ, Ueber die Aufaſtung der Waldbäume. Forſt- u. Jagdzeitung. 1877. — GÖPPERT, Ueber Inſchriften und Zeichen in lebenden Bäumen. (Nach einem Vortrag im ſchleſiſchen Forſtverein 1869.) Der Jahrring, iſt zu ſagen der Zuwachs, iſt ſeiner äußeren Form nach das ſchwankendſte Gebilde. Jeder Eingriff erſchüttert nicht allein die äußere Form, ſondern ſelbſt Geſtalt und Vertheilung der Zellenelemente. Beobachtungen über ſolche Bildungsabweichungen finden ſich in: GÖPPERT, Beobachtungen über das ſogenannte Ueberwallen der Tannenſtöcke. Bonn. Henry u. Cohen. 1842. Innere Zuſtände der Bäume nach äußeren Verletzungen u. ſ. f. Jahrbuch des ſchleſiſchen Forſtvereins. 1873. TRÉCUL, *Formation des vaisseaux au-dessous des bourgeons soit adventifs soit normaux etc. Ann. des sc. nat. 1854.* S. 41—64. — TH. HARTIG, Vollſtändige Naturgeſchichte der forſtl. Kulturpflanzen Deutſchlands. 1840. Heft VII u. VIII Reproduction. Nach den HARTIG'ſchen Unterſuchungen ergibt ſich der Adventiv-Sproß, welcher aus dem Callus entſteht, als ein Deſcendent eines bereits fertigen Holzelementes (m. ſ. auch dieſe Publication, Grenzen der Verjüngung).

lebigen Gebilden. Mit Ausnahme weniger immergrüner Gewächse[1]) reißt dieselbe (bei allen Waldbäumen) im Verlauf des ersten oder zweiten Jahres.

Vor dem Zerreißen hat sich bereits unter der Epidermis aus den peripheren Zellen des Grundgewebes ein korkbildendes Cambium gebildet, welches die Wundfläche mit Dauerzellen eigener Art gegen die Atmosphäre schützt. Diese Dauerzellen eigener Art, welche den «Kork» bilden, verdienen große Beachtung.

A. Folgen der Verwundung: Korkbildung.

Der Kork ist das eigentliche Wundgewebe. Die korkbildenden Zellen (das Korkcambium) können entstehen, in Folge der Verwundung, aus jeder Zelle des Grundgewebes, der Rinde, des jugendlichen Markstrahles, aus dem Bastparenchym, aber nicht aus der Epidermis selbst.

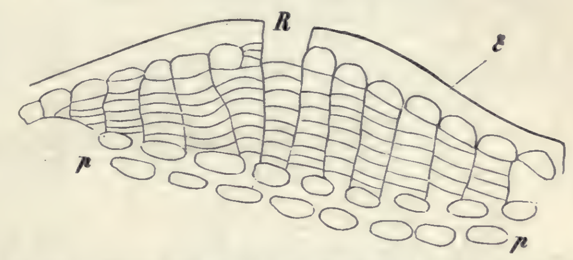


FIG. 339. Lenticelle der Rose. *E* die Epidermis. *p p* das collenchymatose Parenchym der Rinde. In *R* die Rißstelle der Epidermis.

a) Lenticellen[2]).

Locale Korkbildung unter der Epidermis führt zunächst zu dem Auftreten linsenförmiger Wärzchen der Lenticellen, Fig. 339.

Die Epidermis reißt über dem Korkwärzchen früher wie an den übrigen Stellen, das Wärzchen tritt als eine linsenförmige Erhebung über die Stammfläche hervor.

Versuche über die Diffusion atmosphärischer Gase lehrten mich, daß die einzelne Korkmembran oder eine dünne, aus wenig Lamellen bestehende Platte leicht durchlässig ist für atmosphärische Gase, dafern diese unter hohem Drucke stehen. Nun ist bei der technischen Verwendung des Korkes, welche hier in Betracht kommt, zu beachten, daß viele Tausende von dünnen Korkzellhäuten ebensoviel lufterfüllte Zellräume von einander trennen. Von Zelle zu Zelle muß erst ein Diffusionsausgleich stattfinden, ehe die in einem Recipienten durch den Korkstopfer von der Atmosphäre getrennten Gase mit dieser in Berührung kommen. Der Korkpfropfer auf Wein und anderen Flüssigkeiten nimmt selbst nach jahrelangem Lagern von der Flüssigkeit

---

[1]) Studienmaterial für dauernde Epidermen: Viscum, Ilex, Laurus, die Nadeln der Coniferen, die Blätter der Cycadeen, Palmen, der Stamm der Cacteen. — HANSTEIN, Untersuchungen über den Bau und die Entwickelung der Baumrinde. Berlin. G. W. F. Müller. 1853.

[2]) Studienmaterial für Lenticellen: Ahorn, Weide, Prunus, Padus. Studienmaterial für vorherrschende Korkbildung: Korkulme, Evonymus verrucosa u. a.

wenig auf, wie aus dem langſamen Vorſchreiten des Rothweinpigmentes erkannt wird. Hiebei iſt freilich die Impermeabilität der Membran für Pigmente mit in Rückſicht zu ziehen.

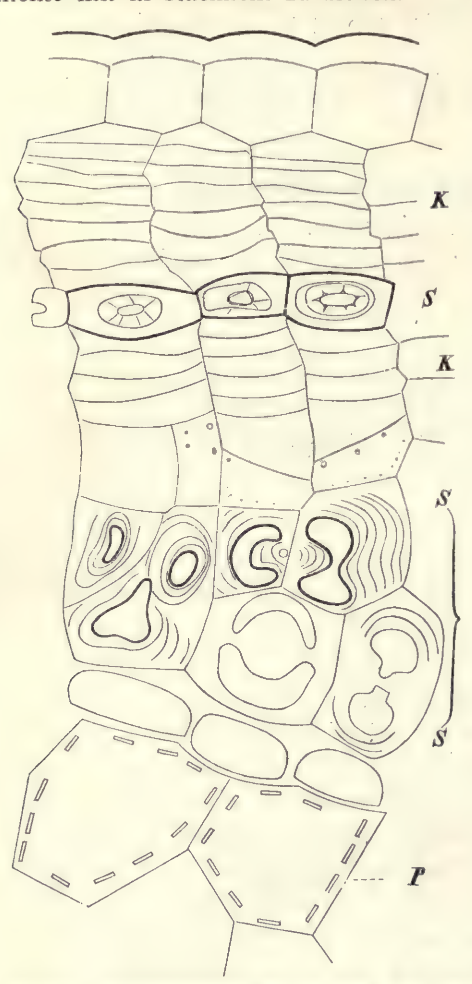


Fig. 340. Querſchnittsparthie durch die Rinden von Cereus peruvian. Die oberſte Zellenreihe iſt die Epidermis. *K* eine Lage Kork. *S* eine Lage Steinzellen. *S S* an der Klammer eine zweite Lage Steinzellen. *P* das chlorophyllführende Parenchym der Rinde.

In den immergrünen Stämmen der Cacteen (Cereus) bildet ſich der Kork unter der Epidermis mit wechſelnden Lagen mäandriſch verſchlungener ſclerotiſcher Steinzellen mit auffälliger Verdickung.

Die in der Figur 340 dargeſtellten Zellenlagen dauern Jahre lang an der Pflanze. Beim Abziehen derſelben bildeten die an die Wundfläche grenzenden Zellen des Grundgewebes von Neuem Kork. Die ſehr verdickten Steinzellen kommen auch im Kork der Bäume, namentlich in Flaſchenkork, vor.

b) Periderma[1]).

Ehe die Epidermis an den Zweigen unſerer Waldbäume reißt, hat eine dichte Lage von Kork den Zweig umhüllt, das Periderma. Dasſelbe iſt ein Derivat der peripheren Zellen des Grundgewebes, umhüllt den Zweig lückenlos und iſt bei der Mehrzahl der Bäume homogen aus gleichdicken Korkzellen zuſammengeſetzt, die gelegentliche Ausbildung zerſtreut ſtehender Steinzellen abgerechnet (Fig. 340).

Das Periderm der Birke, welches in ſo auffälliger Weiſe in papierdünne Platten zerbändert, beſteht aus wechſelnd dünneren und dickeren Korkzellen. Die dünneren reißen, die dickeren blättern als Querbänder von der Rinde ab (Fig. 341).

---

[1]) Studienmaterial für das Periderma: Melaleuca ſtyphelioides, Betula alba.

c) Borkenſchuppen.

Jeder Korkzellmantel, welcher zwei Gewebeparthieen trennt, bewirkt, daß die Translocation der Flüſſigkeiten zwiſchen beiden beeinträchtigt, wenn nicht ganz aufgehoben wird. In dem Maße wie die Rinde an älteren Bäumen von außen nach innen einreißt, ſtirbt ſie ab. Die Bildung von Korkmänteln ſchreitet im gleichen Sinne vor und geht dem Weiterreißen voraus. Durch dieſe Korkbildung werden oft fußlange Lappen bei der Platane vom Verkehr nach innen abgeſchnitten und fallen ſchließlich ab. Die Borkenbildung ſchreitet centripetal vor. Die Rinde der älteren Kiefern iſt ein gutes Studienobject, Fig. 343, 344. Zahlreiche Korklamellen bilden ſich hier allmälig

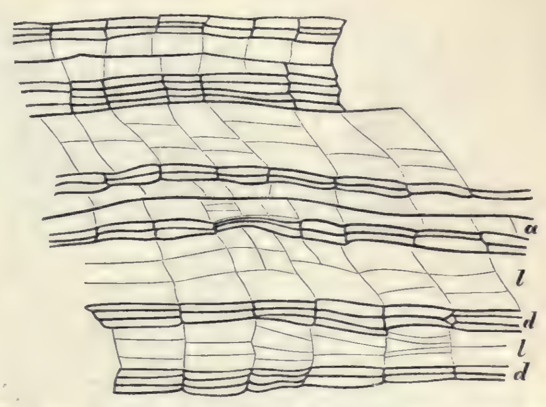


Fig. 341. Betula alba, periodiſch dichte und lockere Peridermaſchichten, *d* die dichten, *l* die lockeren.

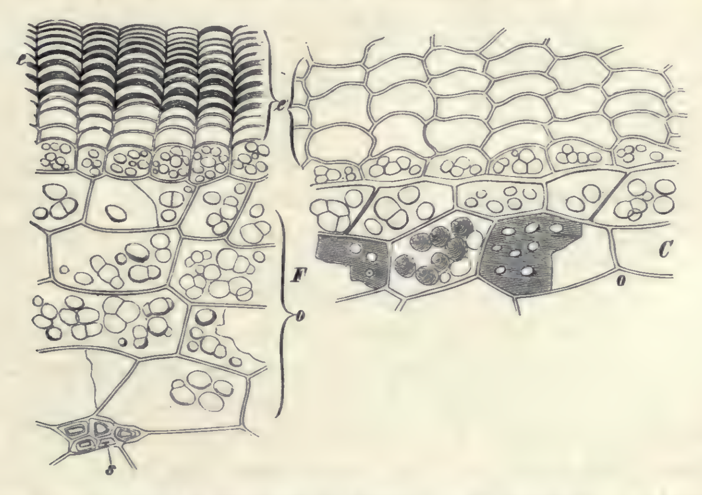


Fig. 342. Querſchnittsparthie der Wurzelrinde der Krameria. *e e* die Korkſchichten. *o* die primäre Rinde der Wurzel mit zuſammengeſetzten Stärkekörnern (nach Berg).

in dem Baſtparenchym *P* durch nachträgliche Zelltheilung. Die Figuren ſtellen Durchſchnitte durch eine Lamelle dar. Dieſe ſetzt ſich aus drei Schichten zuſammen. In der Mitte eine Steinzellſchicht *K S* nach außen und innen, von dieſer je eine Lage dünnzelligen Korkes *m K*, Fig. 343.

In dieſen Lagen reißt die Lamelle, die Borke blättert und die hintereinander belegenen Gewebeparthieen in den Platten ſind zuſammengeſetzt: die Korklamelle, die Steinzellſchicht, die Korklamelle, ein Theil der ſecun-

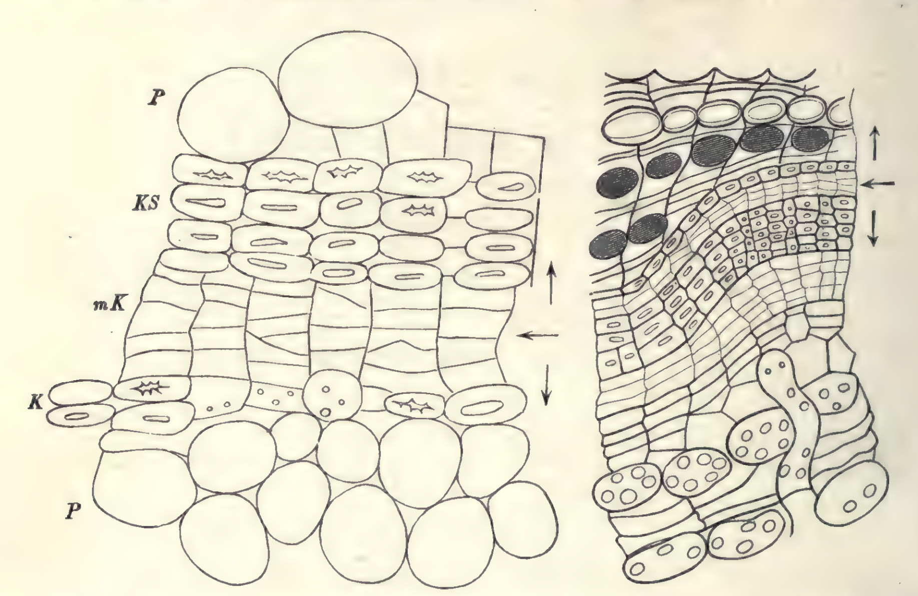


Fig. 343. Kleine Parthie aus dem Querſchnitt der Rinde von Pinus Laricio, da wo eine Korkplatte das Rindenparenchym durchſetzt. *P P* das Baſtparenchym. *K S* die äußere Schale von Steinzellen. *K* die innere Schale. *m K* der Kork zwiſchen beiden; dieſer reißt ſpäter in Richtung des Pfeiles, ſo daß die Borkenplatten ſich trennen.

Fig. 344. Kiefer. Rindenparthie von einer Korkplatte durchſetzt; parallel dem horizontal ſtehenden Pfeile reißt die dünnwandige Korkſchicht, ſo daß die Borkenplatten in Richtung der auseinanderweichenden Pfeile ſich abſpalten.

dären Rinde (in welcher *B Bp L* enthalten ſind, alle Gewebetheile, welche S. 339 betrachtet wurden), ſodann kommt wieder die Korklamelle mit ihren einzelnen Theilen u. ſ. f. Man beachte die Pfeile in der Figur 344.

d) Namenszüge in Blätter geritzt.

Werden ſaftige fleiſchige Früchte der Drupaceen, dicke immergrüne Blätter gelegentlich verletzt, durch Inſecten oder Menſchenhand, ſo vernarben ſie die Wunden durch endogene Korkbildung.

Das beſte Studienobject iſt das Blatt der Wachspflanze, Hoya carnoſa. Die Damen ritzen in ſolche Blätter Namenszüge oder Daten. Nach einiger Zeit iſt der in der Richtung des Pfeiles *A* durch die Epidermis *e* geführte Riß in dieſem Sinne ausgeheilt. Soweit bis *K* etwa die Contuſion das Gewebe zerſtört hat, iſt dieß abgeſtorben und begrenzt durch den Korkmantel *K K* (Fig. 345).

Die Korkbildung ſchreitet einige Zeit ſowohl in centripetaler wie in centrifugaler Richtung fort, zuletzt fällt das Stück *S K S'* vertrocknet ab

und der Namenszug bleibt in der Vertiefung erhalten, fo lange das Blatt exiftirt, oder es bildet das Korkcambium eine über die Fläche des Blattes hervorragende Korkleifte.

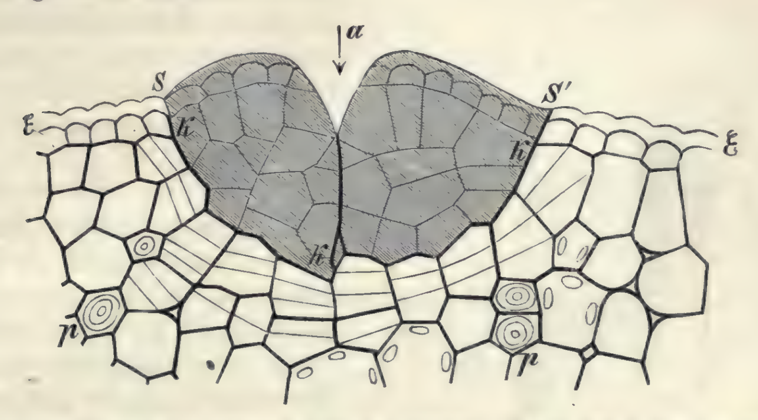


Fig. 345. Hoya carnofa. Eine Wundftelle im Blatte der Wachspflanze. Mit dem Pfeile *a* war das lebende Blatt durch eine Nadel geritzt, fo daß ein Namenszug in der Epidermis entftund. Soweit die Zeichnung fchraffirt, ift das Gewebe abgeftorben, von *S* nach *K* nach *S'* hat das intacte Grundgewebe die Korkbildung eingeleitet, die neuen Membranen ftehen parallel der inneren Grenzfläche der Wunde.

e) Der Blattftiel durchfchnitten.

Viel tiefer eingreifende Wunden werden am Blattftiel immergrüner Blätter ertragen und vernarbt, fo fchnitt ich den Blattftiel der Ficus elaftica von der Innenfeite her, bis zur Hälfte quer durch, fo daß die Laft der Blattfläche die Axe des Stieles in dem Winkel zwifchen α α' knickte (Fig. 346). Die Pfeilrichtung *A* ift die Richtung des Schnittes. Nun ftarb das Gewebe *P' G'* ab, der endogene Korkmantel *K K'* fchützte die Wundfläche. Das Parenchym *P* bil-

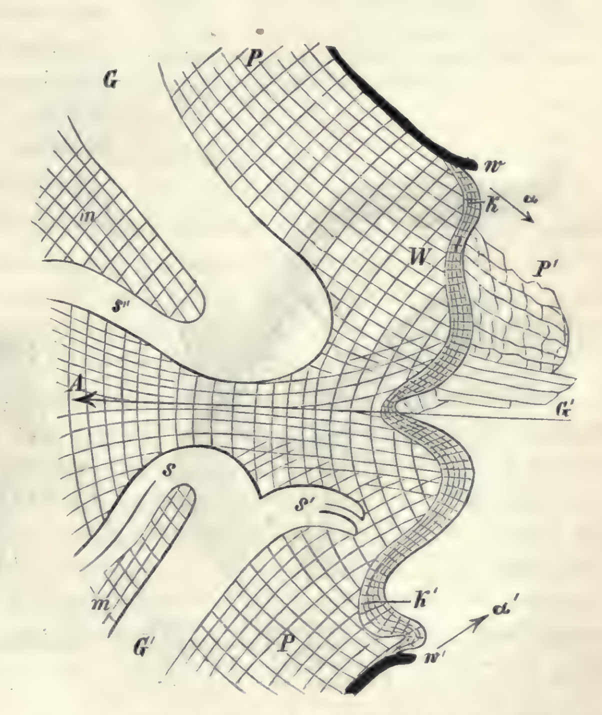


Fig. 346. Längsdurchfchnitt durch die Wundftelle an dem Blattftiel von Ficus elaftica. Pfeil *A* Richtung des fenkrecht zur Axe geführten Einfchnittes. *G G'* durchfchnittene Gefäßbündel. *K K'* Korkmäntel. *P* Grundgewebe.

dete einen vom Blatte her ſtärkeren calloſen Wulſt *W*. Die durchſchnittenen Gefäßbündel *G G'* bildeten calloſe blind endigende Schlingen *s s' s''*.

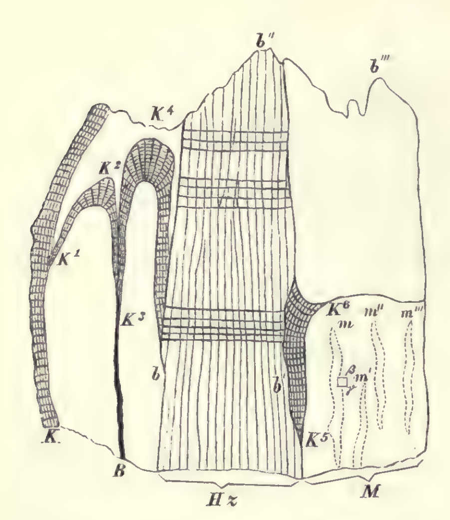


Fig. 347. Aesculus hippocaſtanum. Aſtbruch. *M* Mark. *Hz* Holz. K^1 bis K^6 Korkmäntel, welche das Grundgewebe nach der Wundſtelle ſchützen. *m' 'm''* Stellen im Marke, wo in Folge der Verwundung die Neubildung von Baſtfaſern ſtattfindet.

Der von der Blattfläche abgerechnete abſteigende Callus war mächtiger entwickelt, wie derjenige Calluswulſt, welcher in entgegengeſetzter Richtung wächſt.

Zweignarben. Blattnarben[1]).

In gleichem Sinne ſchließen ſich die Blattnarben und die Bruchſtellen der Zweige. Fig. 347 ſtellt einen in K^4 b'' b''' gebrochenen Zweig von 8 mm Dicke dar. Die Rinde hat ſich mit den Korkmänteln K^1 K^2 geſchützt, das Mark durch K^5 K^6. Die außerhalb der Korkmäntel belegenen Theile ſterben, vertrocknen und fallen ab. Der Zweig iſt dann in der Bruchfläche, ſoweit dieſelbe aus parenchymatöſem Gewebe beſteht, vollſtändig gegen äußere Einflüſſe geſchützt. Nur in dem Querſchnitt der gebrochenen Gefäßbündel unterbleibt die Neubildung.

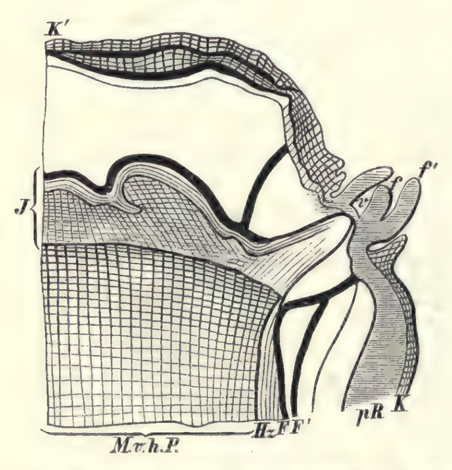


Fig. 348. Eſche. Aſtbruch. Längsdurchſchnitt. *M* Mark. *Hz* Holz. *F F'* primäre Gefäßbündel. *v* Vegetationspunkt einer Seitenknoſpe. *f f'* Blätter daſelbſt. *K K'* Kork. *J* Jahreszuwachs in der Bruchfläche. *pR* primäre Rinde.

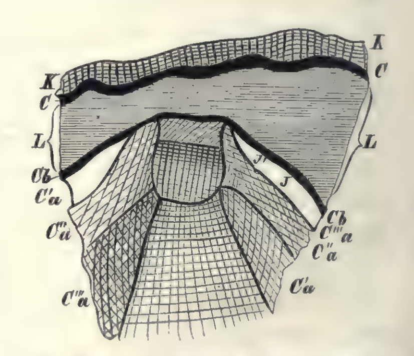


Fig. 349. Eſche. Aſtbruch im Längsſchnitt nach drei Jahren; in der Bruchfläche liegen im Verband mit den calloſen Zuwachsmänteln *C'a C''a* zwei Zuwachsſchalen, *K* Kork, *Cb* Cambium.

[1]) Studienobjecte: Philadelphus, Robinia, Aesculus u. v. a.

Die Axillarknofpe von Philadelphus entbehrt der Knofpenfchuppen, fie ift von einem dünnen Korkhäutchen bedeckt.

Die vollftändigfte Ausheilung von Wundflächen zeigte fich bei der Efche. Hier heilt die in der Gegend von *J* (Fig. 348) belegene Wundfläche vollftändig zu und es bildet fich aus einem im Mark an der Bruchfläche thätigen Cambium ein förmlicher Rindentheil, welcher die Scheitelfläche des Zweiges einhüllt. Diefes Cambium vermehrt fogar entfprechend den Jahrringen im Cylindertheil des Zweiges die Zuwachsmaffe der Endfläche periodifch mit verholzendem Parenchym, Fig. 349 *C'a C''a C'''a* (f. Figurenerklärung).

B. Callusbildungen.

Man muß ganz ftreng bei der Bildung von Callus oder Wundholzmaffen unterfcheiden:

1⁰ die Vorgänge im Wundrande;

2⁰ die Rückwirkung der Verwundung auf die in Diftanzen von wenigen Centimetern belegenen Gewebe und die Rückwirkung der Verwundung auf das ganze Syftem der Pflanze, beziehungsweife des durch die Verwundung mißhandelten Baumes.

Möge das Phänologifche der Verwundungen hier von den leichteren nach den fchwereren Wunden abgehandelt fein.

1. Rindenfenster.

Schneidet man ein rechteckiges Fenfter in die Rinde der Waldbäume, fo ftirbt die Rinde am Rande wenige Millimeter zurück ab. Ift *a b* der obere Wundrand fenkrecht zur Cylinderaxe des Stammes, *d c* der untere wurzelwendige, fo rückt die aus dem Rande entftehende Callusmaffe fenkrecht zu *a b* rafcher vor als fenkrecht zu *d c*, die feitlichen aber rücken gleich fchnell vor.

Nennen wir mit Th. Hartig[1]) den erften den abfteigenden Callus, den zweiten den auffteigenden, und die fymmetrifch nach links und rechts belegenen die feitlichen Calli, fo haben diefe in Folge der Lage zu den Strömen des Stoffwechfels an dem Baume im Allgemeinen diefe Beziehungen:

der abfteigende wie der auffteigende Callus haben einen mechanifchen Widerftand darin zu bekämpfen, daß die Theilungen des Zuwachfes durch Wände gefchehen, welche fenkrecht zum Radius ftehen. Der erftere aber ift bevorzugt durch den abfteigenden Strom der Nährkörper vor dem letzteren.

---

[1]) Th. Hartig, Forftliche Culturpflanzen Deutfchlands (f. oben S. 348).

Die ſeitlichen Calli, unter ſich gleichberechtigt, werden durch das genannte hiſtologiſche Verhältniß begünſtigt. Ein kreisrundes Fenſter, Fig. 350, zeigt dementſprechend alle Uebergänge in der Geſchwindigkeit des Vorrückens der Wundränder.

Wägungen der dreijährigen Callusmaſſe an einem kreisförmigen Rindenfenſter der Eiche.

(Siehe Fig. 350). Der eine Halbkreis *UR O* wurde in 9 gleiche Sectionen getheilt, die jeder Section zugehörige Callusmaſſe wurde losgeſägt und gewogen:

Section.		Gewicht.
oben Nr.	1	3,840 gr
	2	4,100 »
	3	5,610 »
	4	12,370 »
	5	14,290 »
	6	12,460 »
	7	8,870 »
	8	1,260 »
unten	9	negativ, der Callus iſt ſcheinbar zurückgeſchritten.

Der Radius der urſprünglichen Wundſtelle beträgt 15 cm.

Bei der Fichte ſchreitet derſelbe Callus (wie bei allen Coniferen) nur äußerſt langſam über die Wundfläche fort, dagegen läßt ſich hinſichtlich der Dicke daſſelbe Geſetz leicht nachweiſen. (Man vergleiche die randſtändigen Skizzen der Durchſchnitte durch den Callusrand, Fig. 350).

Die Dicke des Callus bei der Fichte iſt in 3 Jahren

von	*O*	nach	*U*	in mm	7
»	*OR*	»	*UL*	» »	28
»	*R*	»	*R*	» »	23
»	*UL*	»	*OR*	» »	16,5
»	*U*	»	*O*	» »	5,5.

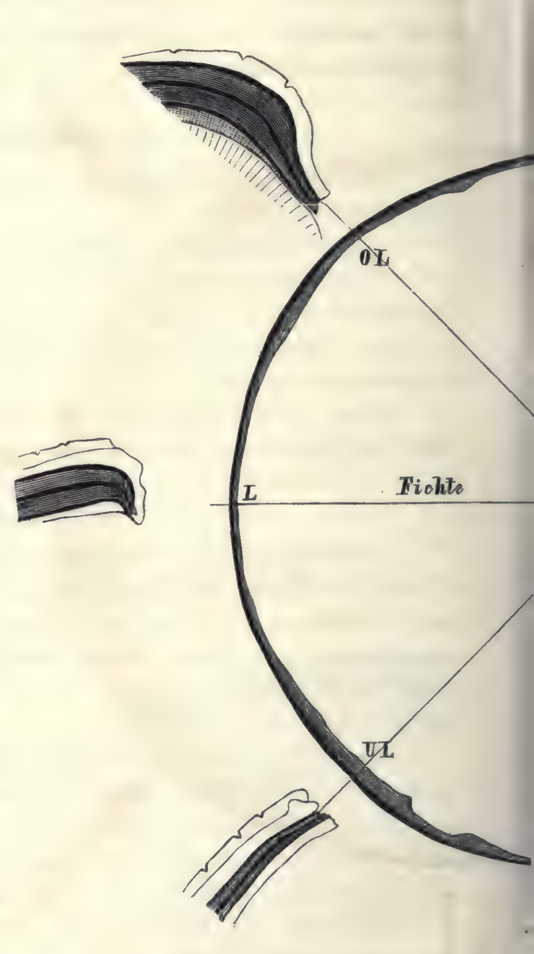
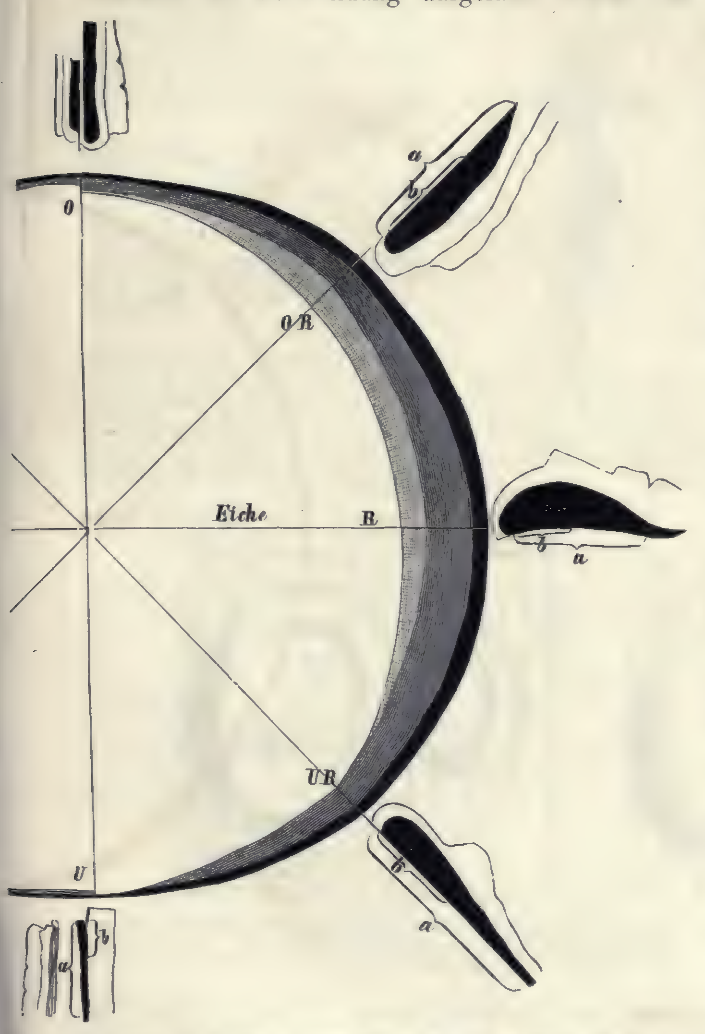


Fig. 350. Zwei Rindenfenſter in 1/3 der natürlichen Größe. *O U* die ſchraffirte Curve ſtellt den über die Oeffnung mit jener Zeit fort der Eiche. Der Zuwachs in der nächſten Nähe um das Fenſter wurde *O* $\overline{OL}$ *L* $\overline{UL}$ *U* und $\overline{OR}$ *R* $\overline{UR}$ *U* verzeichnet. Die dunkeln Orte in tangentialer Richtung die Bräunung, das Abſterben in einem kleinen die Tiefe in derſelben Richtung, bis zu welcher der radiale

Wir müſſen aus den hiſtologiſchen Verhältniſſen ſchließen, daß der Leitungswiderſtand für die Colloide in dem von den Blättern abfließenden Strom ſich in drei Richtungen ungleich verhält, ſo daß die größte Geſchwindigkeit *a* in die Axe, die kleinſte *c* in die Peripherie und transverſal, die mittlere *b* in den Radius und transverſal fällt.

Die Schnelligkeit der Vernarbung hängt von dem Zeitpunkt ab, in welchem die Verwundung ausgeführt wurde. In die Fläche, Fig. 351, *o* oben, *u* unten, *l* links, *r* rechts, wurde die Breite der über die Aſtwundfläche fortſchreitenden Callusränder eingetragen, nachdem ſie am 16. November gemeſſen war. Am langſamſten vernarbten die zuerſt hergeſtellten Wunden, *l* Fig. 351.



die Axe der Stämme. Der äußerſte Contour war die Oeffnung des Fenſters vor drei Jahren; geſchrittenen Callus dar. Die Callusbildung verläuft bei der Fichte ſehr langſam gegenüber an Durchſchnitten ſenkrecht zur Ebene *O U* ermittelt, und in den radial geordneten Figuren bedeuten das Holz, die hellen die Rinde. Die Länge *b* bedeutet die Tiefe, bis zu welcher Theil des Rinde- und Holzzuwachſes von der Wundfläche aus vordrang. Die Länge *a* iſt Zuwachs in dem Callus von dem radialen Zuwachs des Jahresringes abweicht.

Kreisförmige Wunden der Rinde werden ſich aus den angegebenen Gründen ſo ſchließen, wie es die Figurenreihe *a*, *b*, *c*, Fig. 352, zeigt.

In praktiſcher Hinſicht ſpielen ſolche Wunden eine Rolle, da Gärtner und Forſtleute Aeſte abſchneiden oder ſägen. Laſſen ſie dabei einen Stumpf ſtehen, ſo ſchreitet die gewünſchte Vernarbung am langſamſten fort, ſelbſt wenn dieſer nur ein ganz kleiner Vorſprung, ſ. Fig. 353, iſt.

Legen ſie die Schnittfläche aber in die Cylinderfläche des tragenden Stammes, ſo geht der Prozeß der Vernarbung am raſcheſten vor ſich[1]).

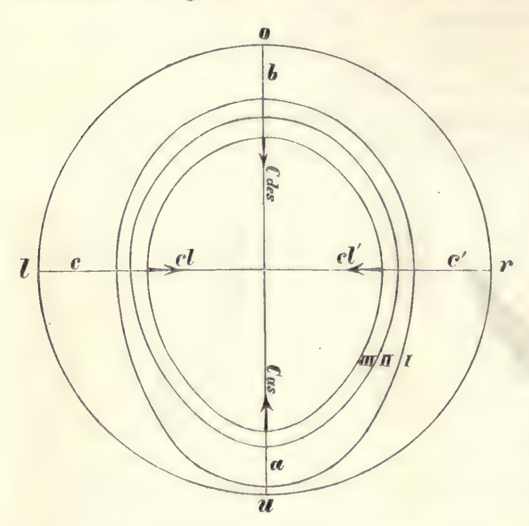
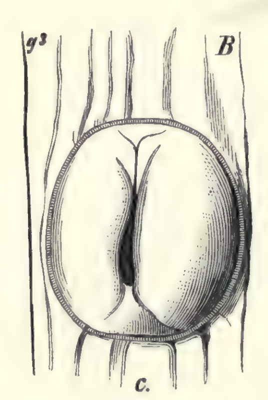


Fig. 351. Graphiſche Darſtellung des durchſchnittlichen Vorrückens zweijähriger Callusbildungen an Aſtwunden der Lärche in natürl. Größe. *u* unten, *o* oben, *l* links, *r* rechts, *a* auf-, *b* abſteigender Callus über die Fläche *o l u r*. *I* Callusrand vom 23. März, *II* vom 30. April, *III* vom 16. Juni des Jahres, in welchem die Verwundung erfolgte.

Die nächſte Rückwirkung auf die Gewebe der Umgebung iſt darin begründet, daß durch das Rindenfenſter, namentlich wenn dasſelbe durch Abſägen eines Aſtes entſtanden, eine Stauung des abſteigenden Stromes eintritt[2]).

Es werden nun (wohl auch zum Theil durch den Wegfall der Aeſte) ſchlafende Knoſpen entfaltet, welche ohne den Eingriff nicht zum Ausbruch kämen.

Verſuche über die Folgen des Aufaſtens ſind an der Königl. Forſtacademie in Münden im Großen in Angriff



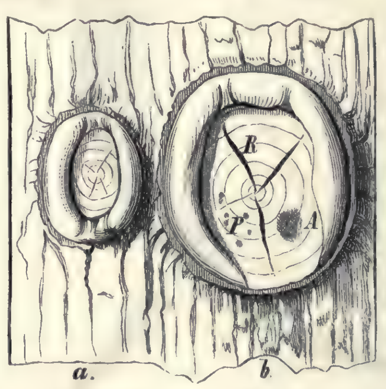


Fig. 352. *a b* zweijährige Aſtwunden der Eiche in 1/4 natürl. Größe, *a* die kleinere Wunde normal nach allen Seiten, *b* die größere, der untere Callus fehlt; *R* Riſſe im Holz, *A* Algen, *P* Pilzanflug. *c* geſchloſſene Wunde der Buche.

genommen für die Beſtände von Lärchen, Kiefern, Fichten, Buchen und Eichen. Sie bieten in erſter Linie ein Intereſſe der praktiſchen Forſtwirth-

---

1) Näheres Forſt- und Jagdzeitung. 1877. M. Kienitz, Ueber die Methode des Aufaſtens.

2) Studienobjecte: Buche, Eiche, Lärche.

fchaft. Ob fie die Mühe und Arbeit, welche für folche Verfuche aufgewandt werden, im praktifchen Sinne rechtfertigen, mag der Wirthfchafter von gefundem Sinne entfcheiden.

2. Ringelung der Rinde.

Wird die Rinde in einem ringförmigen Bande, Fig. 356, abgenommen, fo ift die Rindenleitung zwar vollkommen unterbrochen, Translocation findet aber dennoch ftatt. Der Strom muß an dem oberen Wundrande aus der Rinde in das Holz treten, er erfährt hier freilich eine Stauung, eine mächtige Verlangfamung, dieß gilt für beide Ströme, für den ab- wie den auffteigenden. Was der Baum indeß hier ertragen kann, ift erftaunlich. In Fig. 357 ift eine vierjährige Kiefer auf eine 1 Fuß weite Strecke fo entrindet gewefen, daß nur der fchmale Streifen *a b* ftehen blieb, er reproducirte, wie die Figuren *A* und *B* zeigen, den ganzen fehlenden Querfchnitt.

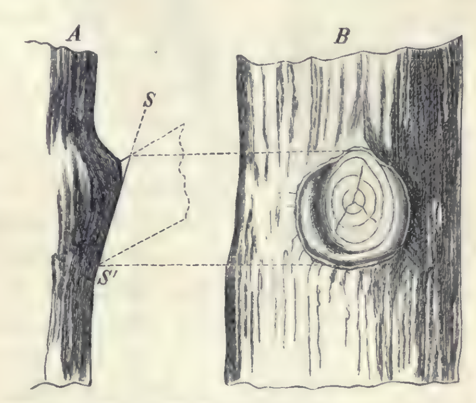


Fig. 353. Buche. Die Aftwunde fo gelegt, daß der obere Theil der Aftbafis in *S* ftehen blieb. Dort unterbleibt, wie in *B* erfichtlich ift, die Callusbildung.

Die Ringbänder (Fig. 358) an 20—30 Jahre alten Pappeln und Buchen zeigen bezüglich des abfteigenden Callus eine merkliche Steigerung der Wachsthumsgefchwindigkeit für den abfteigenden Callus nach der Südfeite.

Der geringelte Aft einer mannbaren Buche, Fig. 356, zeigte im nächften Jahre allein unter allen Aeften desfelben Baumes Blüthenanfätze.

Die Ringelung des Stammes führt, wenn die Wunde in endlicher Zeit nicht überwallt werden kann, den Tod des Baumes herbei. Nach den Beobachtungen Trécul's[1]) ift hiebei indeß noch das Folgende zu beachten.

Wenn, wie in einzelnen Fällen, der Baum den Eingriff länger überlebt, ift die Holzernte kleiner und zwar abhängig vom Blattfalle. Jedes Stärkemolecül entfpricht fehr näherungsweife einem Cellulofe-, refp. Holzmolecül und jeder Verluft in diefem Jahre an Amylum in den Blättern wird mindeftens ein Verluft für das nächfte Jahr fein.

---

[1]) Trécul, *De l'influence de la décorticat. Ann. d. sc. nat. 1855.* S. 341. Eine fehr fchöne Serie von Bäumen, an welchen mit großem Fleiße Experimente diefer Art ausgeführt wurden, find in der Nähe von Münden durch Durchforftungen untergegangen. Drei bis vier Exemplare wurden gerettet für die Sammlung der Königl. Forftacademie Münden.

Dieſer Verluſt beträgt bei dem

Blattfall	am	2. Auguſt	0,77	%
»	»	10. »	0,6	»
»	»	17. »	0,55	»
»	»	22. »	0,325	»
»	»	29. »	0,245	»
»	»	5. Septbr.	0,110	».

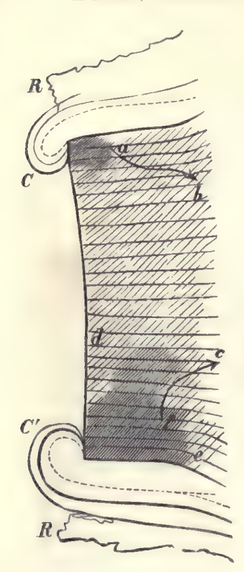


Fig. 354. Durchſchnitt der Wundfläche eines Eichenaſtes, ½ nat. Größe. *C C'* Callus ascendens. *R* Rinde. *a b*, *f c* Grenze zwiſchen dem lebenden Splint und dem functionslos gewordenen Holz.

1° Der Baum, welcher eine Ringelwunde an der Rinde erhält von gewiſſer Ausdehnung und nicht überwallt, muß ſterben, wenigſtens in ſeiner oberen Parthie.

2° Damit der Baum trotzdem in dieſer lebend bleibt, ſcheint es nöthig, daß Adventivknoſpen den untern Theil ernähren.

3° Die den Experimenten unterlegenen Bäume ſind meiſt erſt im zweiten oder dritten Jahre nach der Operation geſtorben.

4° Die obere Parthie der Bäume, welche im Monat Juni (Mitte) operirt wurden, erlag in demſelben Jahr.

5° Die Blätter der geretteten Bäume ſind im zweiten Jahre im Juli bis Auguſt abgefallen.

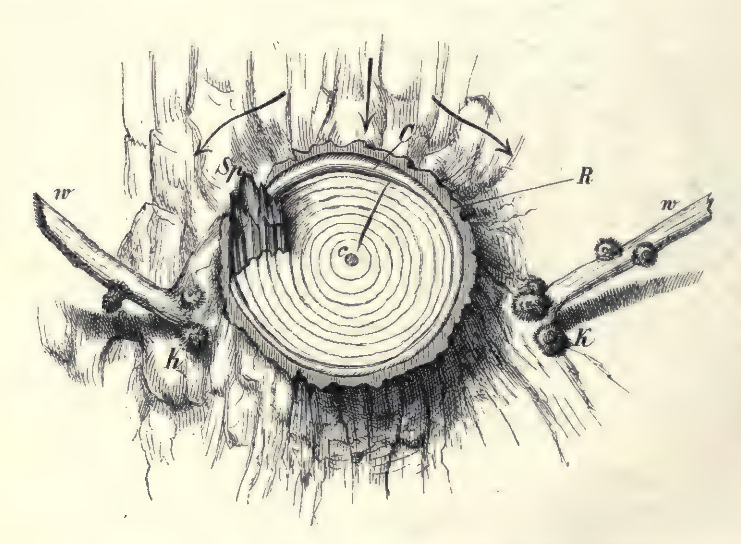


Fig. 355. Lärche. Aſtwunde. *w w* Waſſerreiſer. *K* Knoſpen. *C* Callus. *R* Rinde. *Sp* Splitter, dort unterbleibt die Callusbildung.

3. Spiralringelung.

Wird die handbreite Wunde durch 1—2 m Länge um den Stamm als eine Schraubenlinie geführt (man vergl. Fig. 360), ſo zwingen wir die beiden Ströme in neue Bahnen. Der von der Wurzel aufſteigende Strom wird in dem unteren, der von der Krone abſteigende Strom wird in dem oberen Wundrand verlaufen. Die Vernarbung braucht mehrere Jahre Zeit, und es zeigen ſich dabei einige intereſſante Vorkommniſſe, welche mit Zuhilfenahme der ſchematiſchen Fig. 359 leicht zugänglich werden.



Fig. 356. Eiche. Der Aſt *A* geſtümmelt. *c* Callus. *w* Waſſerreis. In *B* geringelter Aſt. *F* Flächencallus.

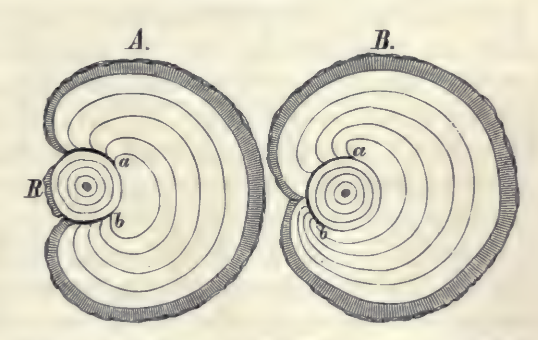


Fig. 357. Querſchnitt durch einen Kiefernſtamm, 1/3 nat. Größe. *A* und *B* einige Decimeter von einander entfernt. Der Stamm war in *a b* entrindet. *R* Rinde. Nach 5 Jahren war die mächtige Wunde durch den Holzzuwachs geſchloſſen.

Wird der Strom, welcher in dem Stamm herrſchen muß, aus der kürzeſten Längsrichtung durch ſchraubenlinige Entrindung in zwei parallele Bahnen auf größeren Umweg gezwungen, ohne daß die Leitung abſolut, wie etwa durch eine Ringelung, unterbrochen iſt, ſo nehmen in den neuen Bahnen die Anziehungskräfte, welche das Erſtarren der ſtrömenden Membranogene zu feſtem Holze bewirken, bei derſelben Neigung der Wundränder zur Axe, im oberen Rande in der Richtung eines abſteigenden, im unteren Rande in der Richtung eines aufſteigenden Stromes zu.

Dieß läßt ſich nur ſo erklären:

Die Linie *A B* (Fig. 359) iſt die Grenze der Wunde, es iſt der mit der Axe des Stammes parallele ſeitliche Wundrand, welcher die beiden Schraubenlinien verbindet, von dort nach *SO S* u. ſ. f. iſt die Rinde conti-

nuirlich. Der Theil über *A B* ftellt fomit ein oberes Refervoir für den Strom dar, aus dem der Widerftand für die Strömung in *A B* plötzlich wächft. Ein ähnliches Verhältniß liegt jenfeits *A* N_1 B_1 im Sinne der

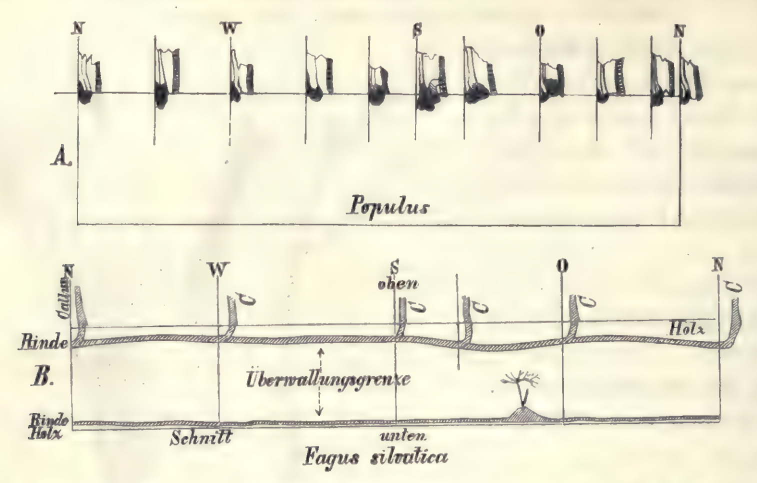


Fig. 358. Geringelte Bäume. Die Ringelwunde im aufgewickelten Cylinder dargeftellt. *A* für die Pappel, *B* für die Buche in 1/3 der natürl. Größe. *N* Nord-, *W* Weft-, *S* Süd-, *O* Oftfeite des Schaftes. In *A* ift nur der abfteigende, in *B* ift der abfteigende und auffteigende Callus dargeftellt. Nach *S* oder *SO* herrfcht der Callus etwas vor.

Pfeile gerechnet. Beide Refervoire fenden nun eben, weil fie durch den Widerftand der Schraubenbahn getrennt find, die disponiblen Membranogene durch die neuen Bahnen, aber mit ungleichem Erfolg; das untere Refervoir erfchöpft fich, ehe die Strombahn ausgefüllt ift. Der Callus afcendens nimmt daher zu, je mehr er fich dem oberen Refervoir nähert. Der Callus defcendens verhält fich umgekehrt: je weiter er von feinem, dem oberen, Refervoir fich entfernt, um fo mehr wächft fein Zuwachs für die gleiche Zeit.

Die Ringelung der Rinde unterbricht zwar den Rindenftrom für das von den Blättern abftrömende plaftifche Material vollftändig, gleichwohl ift der osmotifche Austaufch für die jenfeitigen Orte nicht abfolut unterbrochen. Da das Holz einen Theil der Nährkörper aufnimmt, fo geht diefer Theil, freilich mit geringerer Gefchwindigkeit, von dem oberen Wundrand, durch die jüngften Holzconvolute, nach dem unteren Wundrande hinüber.

Meffungen über den Zuwachs dies- und jenfeits folcher Ringelwunden haben einiges Intereffe: eine Eiche von 20 cm Durchmeffer wurde in Manneshöhe zweimal geringelt; die beiden Wunden waren 350 cm von einander entfernt, und jedes der entfernten Rindenbänder war 5 cm breit. Nach drei Jahren wurde die Zuwachsmaffe an vier Orten auf je einer 1 qcm großen Fläche forgfältig abgefchnitten und gewogen.

Obere Ringelwunde.	Sie beträgt	über dem	oberen	Wundrand	1,02 g
	« «	unter «	unteren	«	0,06 «
Unteres Ringelband.	« «	über «	oberen	«	0,74 «
	« «	unter «	unteren	«	0,29 «.

Die größte Anhäufung ergibt ſich hieraus über dem oberen Rande der oberen Ringelwunde, ſodann kommt der Ort, welcher über dem oberen Rande der unteren Wunde liegt, und das abſolute Minimum liegt unter dem unteren Rand der oberen Ringelwunde:

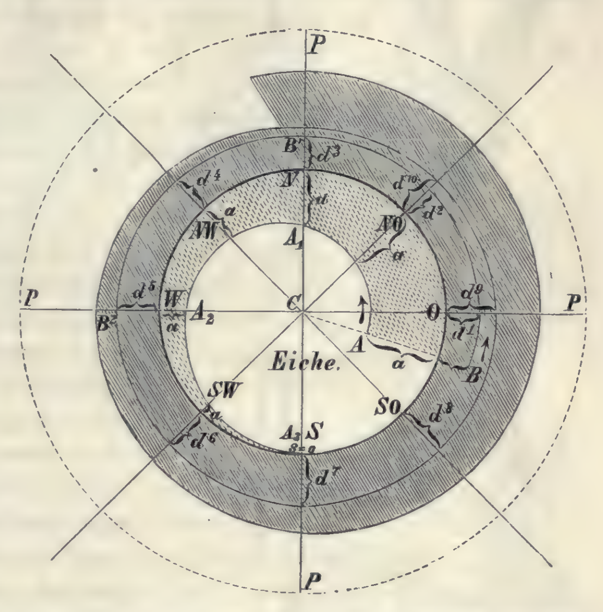


FIG. 359. Schema des Zuwachſes in einer ſchraubenlinigen Wunde, welche nach drei Jahren abgemuſtert wurde, nach genauen Meſſungen in 1/3 der natürl. Größe. Der Kreis $O\ N\ W\ S$ iſt der Querſchnitt des Baumes zu den Himmelsrichtungen. Der Radius $CO = OP$ iſt gleich dem Durchmeſſer des Schraubenbandes, welches den Stamm umkreiſt. Von dem Kreiſe $O\ N\ W\ S$ wurde die Länge (d. h. die Ausdehnung in axiler Richtung) des Callus in radialer Richtung aufgetragen und zwar für den Callus deſcendens in centripetaler Richtung, es ſind die Längen $A\ A_1\ A_2\ A_3$ bei O, NO, N, NW u. ſ. f. bis AO wie in S; für den Callus aſcendens in centrifugaler Richtung von B ab ſind es die Längen $d_1\ d_2\ d_3$ u. ſ. f. Wiewohl nun die beiden Wundränder parallel und gleichſinnig mit den Pfeilen den Stamm umkreiſen, ſo theilen ſich doch, wie man aus den angegebenen Längen ſieht, zwei Ströme, von welchen der eine bei gleichem Sinne der Richtung ab-, der andere zunimmt.

4. Umschlingung.

Die Loniceren umſchlingen die Stämme der mittleren Alterslagen von Buchen, Hainbuchen, Pappeln u. ſ. f. Durch den Zuwachs wird die Schlinge ſelbſt immer ſtärker angezogen, der Rindenſtrom in die Spirallinie der Schlingen gezwungen, und es kommt durch den ſtärkeren Zuwachs von der Oberſeite her ſchließlich zur Einwallung der Schlingpflanze, Fig. 361, nachdem in einigen Fällen ſelbſt der Holzkörper deformirt iſt.

5. Verwachsung und Trennung.

An den Wurzeln im Boden kommen gelegentlich bei den Waldbäumen Verwachſungen zwiſchen zwei Bäumen vor. Auch die Stämme in dichten Stangenorten der Buche und Eiche verwachſen, wenn ſie ſich dauernd dicht berühren. Hiebei wird zunächſt die beiderſeitige, in der Berührungsſtelle liegende Rindenparthie functionslos. Durch den Druck unterbleibt dort auch der Zuwachs, während derſelbe um die Berührungsſtelle

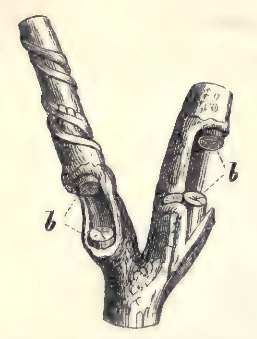


Fig. 360. Pittofporum viridiflorum, fpiralig entrindete Aefte, an welchen in dem Maße, wie die Callusbildung fortfchritt, das alte Holz entfernt wurde, fo daß der Aft nur noch durch callofe Holzmaffen zufammengehalten wurde[1]).

herum fich anhäuft; dort wird die Rinde durchbrochen, die beiderfeitigen Zuwachsmaffen gerathen in Contact und verfchmelzen fchließlich zu einem callofen Wulft, die eingefchloffene Rindenparthie wird erft nach langer Zeit reforbirt. In ähnlichem Sinne verläuft die Einwallung der Lonicerenfchlinge, Fig. 361. Nur ift hier die umfchlungene Buchenftange im Vortheil gegenüber der Schlingpflanze durch einen ftärkeren Zuwachs. Es kommt nicht zur Verwachfung der beiderfeitigen Holzmaffen. Der Holzkörper der Schlingpflanze wird fammt feiner Rinde eingewallt. Der Erfolg einiger Verfuche, in welchen Bäume mit Drahtbändern eingefchnürt waren, ift ein ähnlicher. Erfordert die Ueberwallung der bis 3 cm breiten Drahtbänder mehrere Jahre, fo wird in dem Zuwachs die fonft charakteriftifche Structur der Jahrringe nicht hergeftellt.

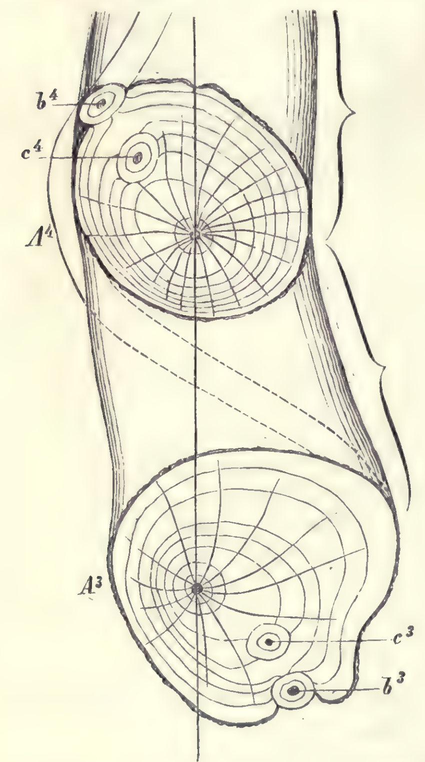


Fig. 361. Zwei Lonicerenfchlingen um eine Buchenftange. b_3 b_4 die eine, welche foeben eingewallt wird. c_3 c_4 die bereits vor mehreren Jahren eingewallte Schlinge.

Der umgekehrte Vorgang zu dem Verwachfen durch Einwallen vollzieht fich an manchen Rhizomen und Wurzeln, fo z. B. bei der Wurzel und dem Mittelftock der Carlina. Die Markftrahlen zwifchen den großen Gefäßbündeln werden zerftört. Jede Gruppe von Gefäßbündeln umgibt fich mit einem Rinden- und Korkmantel. Es entftehen aus einem Wurzelcylinder deren drei, vier und mehr.

6. Bruch.

Durch totale Aufhebung der Continuität, wie fie Fig. 362 darftellt, ift jedenfalls eine Verwundung herbeigeführt, wie fie nicht größer fein kann.

Die Vernarbung führt zu einer vollftändigen Wiederverbindung der beiden Stücke bei allen Pflanzen,

[1]) Trécul, *Ann. d. sc. nat. S. IV. 1854.* S. 41—64. *Formation des vaisseaux.*

welche leicht zu calloſen Wucherungen neigen. Farrenkräuter und Coniferen gehören nicht zu dieſen. Die leichten Holzarten, Weide, Pappel,

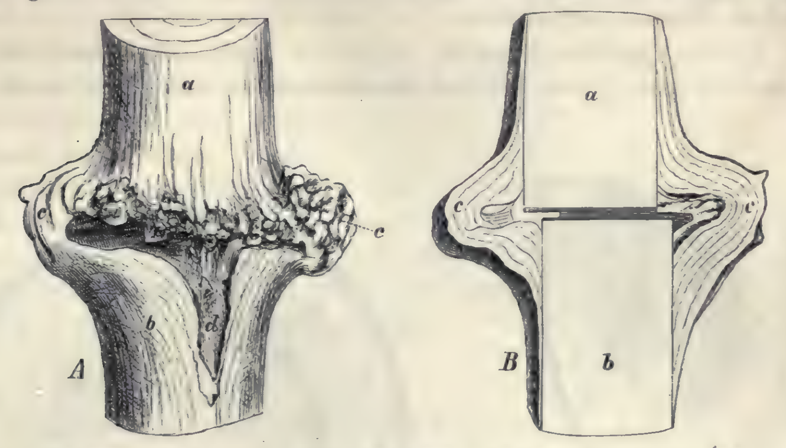


Fig. 362. Callusbildung der Pappelwurzel, welche in zwei Stücke zerſchnitten war, die beiden Stücke verbunden verwachſen. *A* Außen. *B* Durchſchnittsanſicht. *c* die verſchmolzenen Callusmaſſen.

Ahorn u. ſ. f. vernarben noch gröbere Wunden, wie die in Fig. 362 dargeſtellte. In Fig. 363 *A* iſt ein Zweig gebogen und in *A a* gebrochen. Beide Bruchſtücke heilten ſich ſo aus, daß der fehlende Theil aus dem Marke erſetzt wurde (Fig. 364, 365). Dieſe Verjüngung geht vom Mark und dem Grundgewebe der Rinde aus. In Figur 363 *B* ſind alle Wundflächen im Durchſchnitt gezeichnet: alle ſind verwallt.

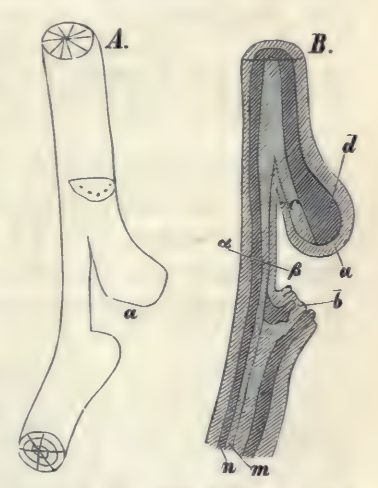


Fig. 363. Ahornzweig gebrochen. *A* Außen. *B* Durchſchnittsanſicht. *b* untere, *a* obere Bruchfläche.

Der Durchſchnitt durch α, β, Fig. 363, iſt halbſchematiſch in Fig. 364 dargeſtellt. Die Fig. 365 dagegen zeigt ebenſo den halben Durchſchnitt durch *a* in Fig. 363 *B*. Die hinzugekommenen Zweighälften unterſcheiden ſich von dem normalen durch die calloſe Anordnung der Holzelemente. Es läßt ſich indeß in ihnen die Structur der Jahrringe nachweiſen.

Nennen wir für einen normalen Zweig das Grundgewebe vor der Differenzirung das Proten für alle übrigen, ſo erhalten wir:

Grundgewebe. {
1. Primäre Rinde } ſecundäre Rinde,
2. Fibrovaſalcambien } ſecundäres Holz,
3. Primärer Markſtrahl,
4. Mark = Proten des Grundgewebes für den Callus.

Wir ſehen ſomit die Fähigkeit der Reproduction noch weiter hinausgeſchoben, bis zu jenem Gewebe, welches im normalen Leben am früheſten aus dem Verkehr ausſcheidet.

Zu den gröbſten Eingriffen gehört der Bruch des Schaftes. Es begegnete mir eine Kiefer, welche etwa im zehnten Jahrestrieb in der Axe

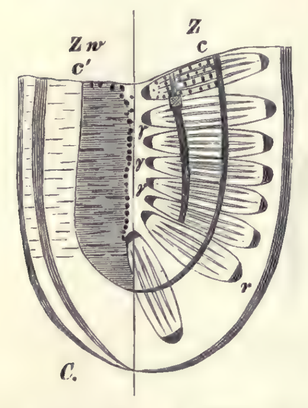


Fig. 364. Ahorn. Querſchnitt durch α β Fig. 363. *Z* die natürliche, *Zw* die neu hinzugekommene Zweighälfte. *c c'* Cambium. γ γ die primären Gefäßbündel. *r* der Baſttheil derſelben.

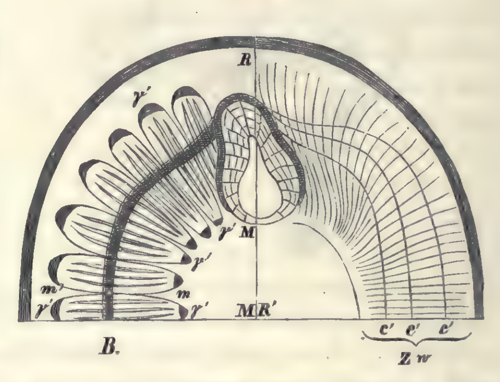


Fig. 365. Ahorn. Querſchnitt durch *c d*, Fig. 363 *B*. *B* die natürliche, *Zw* die hinzugewachſene Zweighälfte. *R R'* Richtung des Riſſes. γ' die primären Gefäßbündel. *m m* primärer Markſtrahl. *M* Mark. *c' c'* Zuwachsſchichten.

gebrochen war, ſo daß die beiden Bruchſtücke den Winkel von 90° einſchloſſen. Ein Seitenzweig erſter Ordnung trat an die Stelle des Haupttriebes, functionirte eine Zeit lang und wurde dann nochmals durch einen ſeiner Seitenzweige abgelöſt, welcher die Schaftbildung bis zum 30. oder 40. Lebensjahr durchführte (Fig. 366).

7. Oculiren. Pfropfen[1]).

Beim Oculiren wird ein Axillarſproß zur Zeit der Ruhe, vor Knoſpenaufbruch, von dem Stamm in der Weiſe abgeſchnitten, daß ein Theil des Holzes und der Rinde in Form eines keilförmigen Abſchnittes, Splitters, mit der Knoſpe in Verbindung bleibt. Dieſer wird in den Spalt des zu veredelnden Baumes geſetzt. Es verbinden ſich die beiderſeitigen Cambien. Die Parenchymzellen beider Copulanten verſchmelzen zu einer calloſen Maſſe, in welcher auch Gefäßelemente auftreten.

---

[1]) Dr. Hildebrandt, einige Experimente und Beobachtungen über den Einfluß der Unterlage auf das Pfropfreis. Bot. Ztg. 68. — P. Magnus, Weitere Mittheilungen über den Einfluß des Edelreiſes und der Unterlage auf einander. 113. Bot. Ztg. 71. — R. Stoll, Erwiderung auf die «Vorläufige Notiz über die Veredelung von P. Sorauer». 653. Bot. Ztg. 75. — P. Sorauer, Vorläufige Notiz über Veredelung. 201. Bot. Ztg. 75.

Beim Pfropfen und Pattiren kommt die von Trécul geſchilderte Vernarbung in Betracht, vergl. Fig. 362. Es werden ſchief gerichtete Schnittflächen des Pfropfreiſes und des tragenden Stammes mit einander in Verbindung gebracht.

In allen dieſen außerordentlich groben Eingriffen geht die Neubildung von dem Grundgewebe Mark, Rindenparenchym oder den Markſtrahlen aus. Pfropfen führt zur Hybridation, wie die geſchlechtliche Miſchung. Wenn ſchon gradweiſe verſchieden, gehen die Eigenſchaften der beiden Stämme, Stamm und Edelreis in einander und in die Zweigdeſcendenten über.

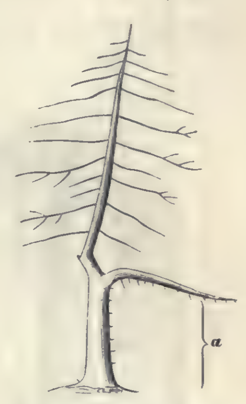


Fig. 366. Ein gebrochener Kiefernſchaft bildete einen neuen Schaft aus dem Zweig der dritten Ordnung.

8. Callus an Stecklingen [1]).

An Weidenſtecklingen bildet ſich an der oberen, der Luft zugekehrten Wundfläche nach wenig Tagen eine ſilberglänzende Zuwachsmaſſe, welche aus den jüngeren Rindetheilen als ein abgerundeter Ringwulſt von wenigen Millimetern Höhe die Schnittfläche überragt. Die mikroſkopiſche Unterſuchung zeigt den Wulſt aus Zellenwucherungen der Rinde zuſammengeſetzt, welche hyalin gegliedert, oft mäandriſch gewunden, mit großen Intercellularen verſehen ſind. Das Chlorophyll fehlt dieſen Zellen. Eine Gliederung des Gewebes in Grundgewebe und Fibrovaſalmaſſen findet nicht ſtatt.

9. Trockenäste.

Bäume können nur ſo entſtehen, daß ſie die Aeſte von unten nach oben am Schaft, als der Hauptwachsthumsrichtung, abwerfen. Solche Aeſte trocknen, nachdem ſie längere oder kürzere Zeit in Folge des Lichtmangels gekümmert haben, ab (Argument gegen die Bedeutung der Imbibition bei der Waſſerleitung, ſ. unten § 36 G), brechen durch Schneedruck, Sturm, Durchforſtung u. ſ. f. Die Stümpfe werden zum Theil eingewallt. Die Waldbäume verhalten ſich in dieſer Hinſicht verſchieden:

1⁰ der Aſt bleibt lange Jahre ſtehen: Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche;

2⁰ der Aſt wird (bis zum zehnten Jahre ſelbſt) in der Jugend durch ein Gelenk abgeſtoßen: Pappel, Weide, Eiche;

3⁰ dickere, Jahrzehnte alte Trockenäſte werden in muſchelförmigen Corroſionsflächen am Stamme nach dem Vermorſchen abgeſtoßen: alle Laubbäume, insbeſondere Eiche, Buche;

---

[1]) Stoll, Bot. Ztg. XXXII. Jahrgang.

4° mehrere Centimeter dicke Aſtſtümpfe werden im Laufe der Jahrzehnte, mit großen Schwierigkeiten für die Translocation der plaſtiſchen Körper, eingewallt: Eſche, Pappel, Eiche (ſ. Fig. 367 und Figurenerklärung).

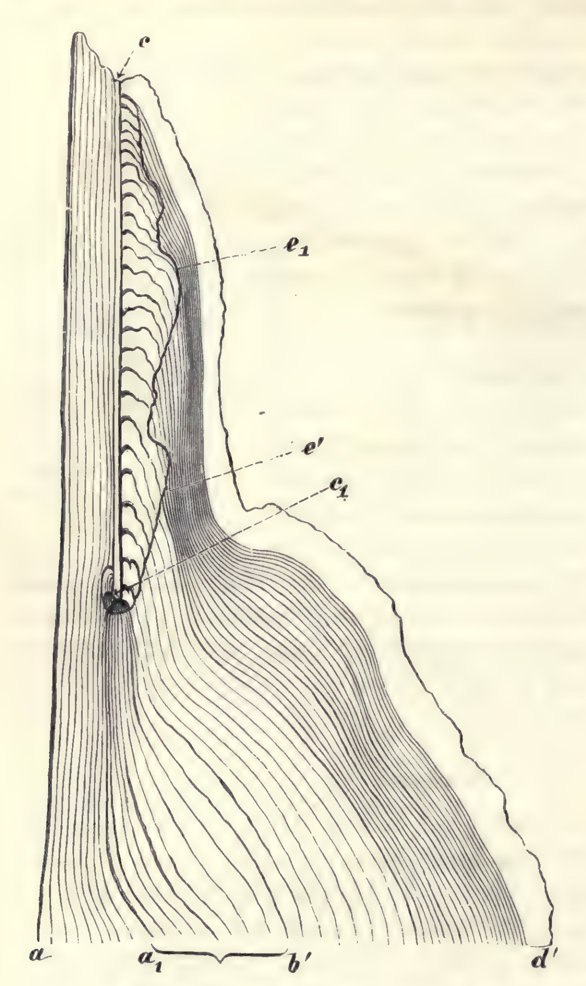


Fig. 367. Ueberwallter Trockenaſt der Aſpe im Durchſchnitt ſenkrecht zur Stammaxe. a bis a_1 Jahreslagen des Aſtes, welche, während er lebte, gebildet wurden. a_1 b' Jahreslagen des Stammes in organiſcher Verbindung mit dem Aſte. b' d' Jahreslagen, welche den Aſt nebſt deſſen Rinde c c_1 überwallten. Der Aſtſtummel ſcheint bis c_1 geſund und lebend zu ſein. e_1 e' Grenze, bis zu welcher vom trockenen Aſt aus gerechnet die Ueberwallungsſchichten gebräunt erſchienen.

10. Callus aus den Schälſtellen.

Wird in der geeigneten Phaſe die Rinde entfernt, ſo durchläuft die fertige Zelle des Markſtrahles alle Formſtufen, welche wir einem früheren Proten zuſchreiben.

Nach Th. Hartig erhielten wir:

Holzmarkſtrahl-Proten des Grundgewebes, aus dieſem:
Proten des Korkes,
« der primären Fibrovaſalmaſſe im Callus,
« des Cambiumringes,
« aller ſecundären Gewebeelemente im Callus, ſomit

endlich auch des adventiven Sproſſes. Hiemit iſt denn nachgewieſen, daß aus dem letzten Deſcendenten wieder von vorn die ganze Entwickelung durchlaufen wird. Meine Reſultate weichen in einigen Punkten von denjenigen Hartig's ab. Die Objecte, welche ich zu der mikroſkopiſchen Unterſuchung verwandte, ſind dieſelben Callusmaſſen, welche aus der Schälſtelle der Buchen und Eichen entſproſſen.

Bekanntlich läßt ſich die Rinde nur in beſtimmter Zeit im Frühling

auf größeren Strecken abſchälen. Die Nageſtellen des Wildes, welche im Winter entſtehen, unterſcheiden ſich weſentlich von ſolchen Schälſtellen, welche das Hochwild durch Abreißen fußlanger Rindeſtreifen im Frühling herſtellt. Letztere zeigen noch in demſelben Jahre die ſchon von Hartig beſchriebenen Inſelbildungen des Holzwalles (Granulationen der Schälſtelle).

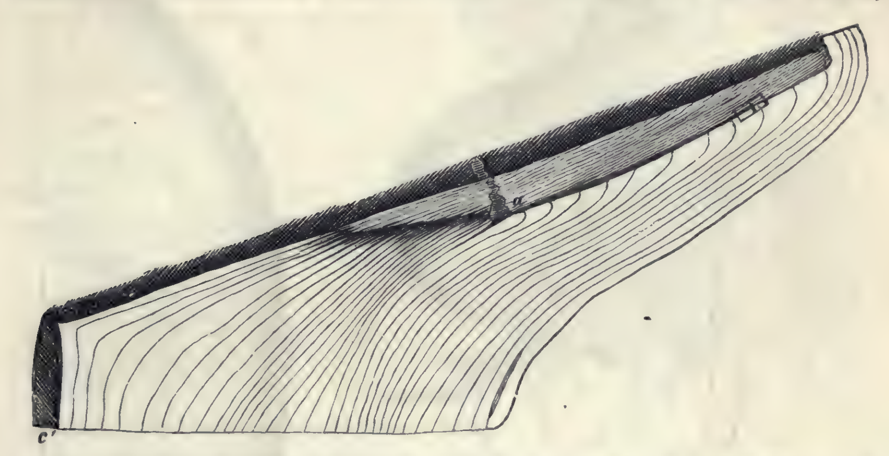


Fig. 368. Eſche, überwallter Aſtſtummel, nat. Größe 9—10 mm dick, von den 13—14 letzten Jahreslagen eingewallt. In der Ausdehnung von *a* bis *c'* iſt der Trockenaſt morſch, an der Wurzel aber feſt und nur gebräunt. Bei der Eſche, welche hier als Beiſpiel vorliegt, vollzieht ſich dieß, ohne daß die Rinde des Aſtes eingewallt iſt.

Die kleinſten Inſeln in der nackten Holzfläche ſind linſenförmige Hügel, deren größte Ausdehnung mit den Markſtrahlen zuſammenfällt.

Durchſchneidet man eine ſolche Inſel in der Querrichtung, Fig. 369 *A*, ſo findet man, daß alle Elemente des fertigen Holzzuwachſes ſich an der Callusbildung betheiligen mußten. Es geht dieß aus dem Folgenden zur Evidenz hervor:

die äußerſte Schicht des Callus *H*, Fig. 369 *A*, beſteht aus collabirten Elementen des Holzzuwachſes aus dem laufenden Jahre, denn es laſſen ſich in ihr alle Elemente des Holzes nachweiſen, ſo namentlich deutlich das abgeſtorbene Ende des Markſtrahles *M* in *M'*.

Hieraus folgt, daß eine tiefere Schicht, wie die jüngſte von der Peripherie *G* aus gerechnet, den Callus bildete. Es läßt ſich in radialer Richtung von dieſer Schicht eine Continuität in der radialen Anordnung aus dem unverletzten Holze in den Callus nachweiſen. Der Callus zerfällt ſelbſt in einen von Steinzellen *P* durchſtreuten parenchymatöſen Theil *P*, welcher von *H* durch ein Korkcambium getrennt iſt; eine cambiale Zone *C* trennt Rinde von Holz. In dem letzteren ſind Tracheïden *T* und Holzzellen vorhanden.

Dieſe Verhältniſſe laſſen keine andere Deutung zu, als daß aus der Grenzſchicht *G* zuerſt Grundgewebe gebildet wird, was ohne eine Thei-

lung der Fibrovaſalmaſſen durch Querwände nicht möglich iſt; daß dann erſt aus dieſem Kork und neue Fibrovaſalmaſſen und deren Cambien *C* entſtehen.

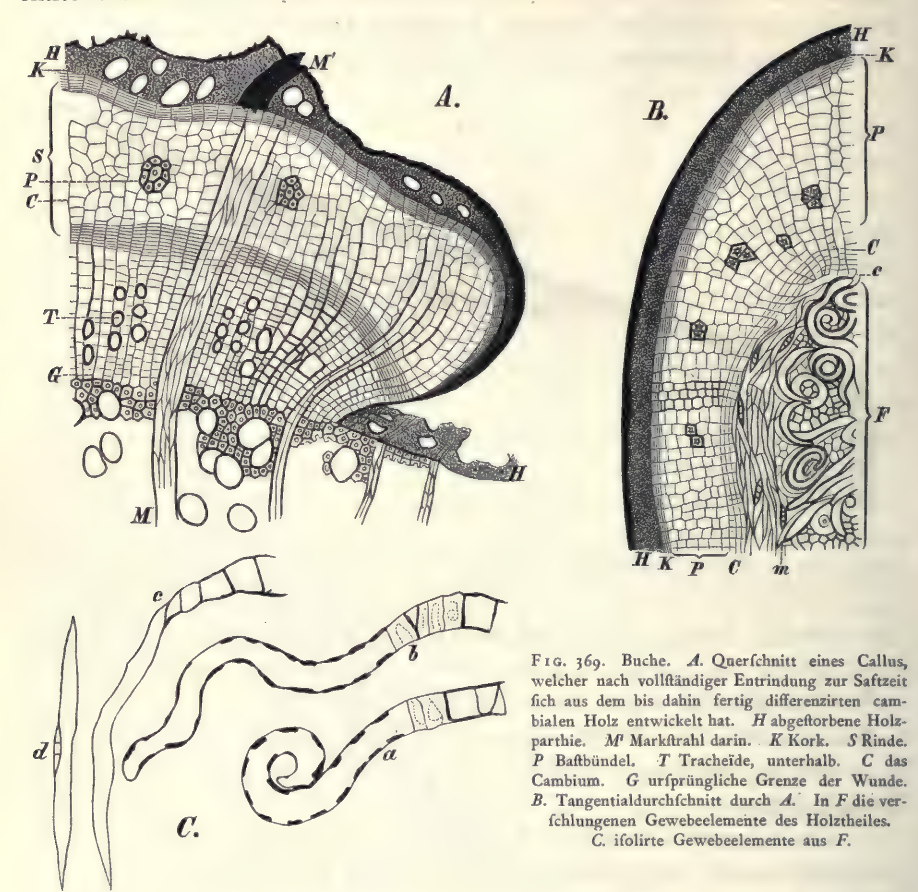


Fig. 369. Buche. *A.* Querſchnitt eines Callus, welcher nach vollſtändiger Entrindung zur Saftzeit ſich aus dem bis dahin fertig differenzirten cambialen Holz entwickelt hat. *H* abgeſtorbene Holzparthie. *M'* Markſtrahl darin. *K* Kork. *S* Rinde. *P* Baſtbündel. *T* Tracheïde, unterhalb. *C* das Cambium. *G* urſprüngliche Grenze der Wunde. *B.* Tangentialdurchſchnitt durch *A.* In *F* die verſchlungenen Gewebeelemente des Holztheiles. *C.* iſolirte Gewebeelemente aus *F.*

Einen deutlichen Beleg hiefür erhält man in dem Tangential-Längsſchnitt durch dieſelbe Inſel, Fig. 369 *B.* Die Elemente des Holzes ſind vielfach verſchlungen, ähnlich den Maſern. Da wo eine Faſer in die Cambiumzone eintritt, theilt ſie ſich in der Längs- ſowie in der Querrichtung. Iſolirte Faſern in dem nach der Schulze'ſchen Methode macerirten Gewebe, Fig. 369 *C,* zeigen in *a* und *b* die Quertheilung, in *c* eine Cambiumzelle, welche am einen Ende mit iſodiametriſchen Elementen in Verbindung ſteht.

11. Namenszüge in der Rinde.

Wird im Jahre *n*, Fig. 370 *C,* in die Rinde der Buche, Hainbuche u. ſ. f. ein Namenszug *R O* geſchnitten, in der Weiſe, daß der Schnitt *s*

die ganze Rinde *R* und den letzten Jahrring *H*, Fig. *B*, verletzt, so vernarbt zunächst in diesem oder dem nächsten Jahre $n + 1$, Fig. 370 *C*, die Wunde im Holze. Das Narbengewebe wird seinerseits selbst von den kommenden Jahreslagen vollständig bedeckt. Nach vielen Jahrzehnten zeigt sich dann der Zug *R O* in dem Holzcallus *c c'*, Fig. 370 *C*, wenn der Baum gefällt wurde. Der Holzkörper spaltet in der Richtung des Pfeiles leichter. Die Spaltungsflächen zeigen dann ein Relief und eine Vertiefung des Namenszuges. Die innere Fläche zeigt die Erhebung, die äußere die Vertiefung, Fig. 370 *A*. Dieß beruht darin, daß der ursprünglich in das Holz geführte Schnitt die Matrize für den callosen Zuwachs wird, welcher die Lücke auszufüllen bestrebt ist und schließlich ausfüllt. Die Bilder der beiden Schaalen sind alsdann selbstredend gegenseitige Spiegelbilder. Der Namenszug behält in der Matrize, welche durch Holz ausgefüllt ist, constante Breite. In der Rinde aber, *t t* Fig. 370 *C*, wird er von Jahr zu Jahr erweitert.

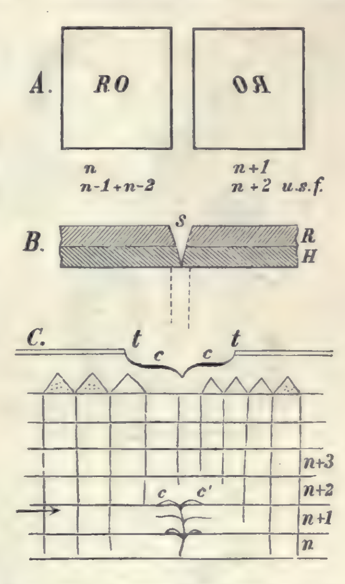


Fig. 370. Schematische Darstellung der Ueberwallung eines Einschnittes in die Buchenrinde. *A.* der Namenszug *R O* in der Rinde im Jahre *n* durch diese und den damals letzten Jahresring *n*, Fig. *C*, geschnitten. *B.* Schema des Einschnittes *S* im Querschnitt des Stammes. *R* Rinde. *H* Holz. *C.* Schema desselben Durchschnittes nach 5 Jahren. $n + 1$, $n + 2$ u. s. f., *t t* der verbreiterte Wundrand der Rinde, *c c* der Callus der Rinde dort, *c c'* der Holzcallus, welcher den Schnitt *S* so ausfüllt, wie eine plastische Masse die Gießmutter (Matrize). Bis zum Jahre $n + 2$ soll diese ausgefüllt sein. Die Jahreslagen $n + 3$ u. s. f. lagern sich glatt über die Wunde und den Holzcallus. Spaltet man nun mit dem Pfeil, so erscheint das erhabene Bild verkehrt als Spiegelbild zu *R O* mit den Calluslagen $n + 1$, $n + 2$ u. s. f. Das vertiefte liegt in den Holztheilen n, $n - 1$, $n - 2$.

C. Deformirung von Pflanzentheilen durch Insecten[1]).

Die Blätter und Zweige, auch die Wurzeln werden durch den Eingriff der Insecten in mannigfacher Weise deformirt.

Mögen hier einige der tiefeingreifenden Wucherungen geschildert sein: die Epidermis der Blattunterseite von Alnus glutinosa, Vitis vinifera, der Linde, Ulme u. a. m., wird durch eine Milbe zur Bildung mehrerer Milli-

[1]) Lacace Duthiers, *rech. pour servir à l'histoire des galles. Ann. des sc. nat. 1853.* S. 273. — Mitteleurop. Eichengallen. Von Dr. G. Mayr. Wien 1871. C. Gerold's Sohn. — Taschenberg, Die Hymenopteren Deutschlands. Leipzig. E. Kummer. 1866. — A. Röse, Notiz über die krankhaften Auswüchse auf Weinblättern (Erineum vitis Soboad), verursacht durch eine Milbe (Phytoptus vitis Landois), nebst einigen Bemerkungen dazu von D. F. L. v. Schlechtendal. 294. Bot. Ztg. 66. — F. Thomas, Zur Entstehung der Milbengallen und verwandter Pflanzenauswüchse. 281. Bot. Ztg. 72. — Sorauer, Handbuch der Pflanzenkrankheiten. 1874. Wiegandt, Hempel u. Parey. — Schlechtendal, Bot. Ztg. 254, 63. Einige Bemerkungen über krankhafte Auswüchse auf Weinblättern. 294.

meter langer Haare angereizt. Diese stehen in Rasen von 4—6 mm Durchmesser in einer Concavität, welche durch den Parasiten veranlaßt wird, indem sich die Blattfläche nach der Oberseite wölbt.



Fig. 371. Nach Lacace Duthiers (*Ann. des sc.* a. a. O.). *A* Blattgallen, eiförmig mit schiefgestellter Axe. *B* Gallapfel aus der Achsel der Blätter. *C* Becherförmige Eichengalle. *D* Kleine becherförmige Eichengalle. *E* Auf dem Eichblatt, *a* flache scheibenförmige, *b* conische, *c* flache tellerförmige, behaarte. *F* Rosengalle im jugendlichen Zustand. *G* Axillarsproß der Eiche in eine Galle umgewandelt[1]).

Die Gallwespen legen ihre Eier in die Eichenknospe, in die Wucherung, welche sie am Blatte veranlassen und in Adventivknospen, welche wahrscheinlich entstehen in Folge davon, daß die Rinde der Aeste und des Stammes gereizt werden.

a) Zweiggallen von Cynips Malpighi entstehen durch die Einwirkung des Insectes auf eine vorhandene vegetative Knospe. Die Niederblätter entfalten sich stärker, die Knospe schwillt zu einem Centimeter großen Zäpfchen mit lockerer Beschuppung, ähnlich dem Hopfenzapfen, Fig. 371 *G*.

b) Die Blattgalle von Cynips Quercus Malpighi, wenige Millimeter groß, flach, teller- oder knopfförmig, ist eine Wucherung des Grundgewebes im Blatte mit einer in der Basis der Galle endenden Gefäßbündelauszweigung. Hieher gehören auch die Aleppogalläpfel, welche in den Handel kommen.

c) Ich fand an dem frischen Rindenriß einer Eiche im Niederwald eine große Anzahl von Galläpfeln in allen Entwickelungsstadien von der Größe eines halben bis zur Größe von 2—3 mm. Hie und da waren aus

[1]) Genauere Angaben s. allgemeine Morphologie Bd. I. 2.

dem ſaftigeren Weichtheil des Rindenriſſes ſchwache Zweiglein entwickelt, an welchen die Knoſpen ſich in Gallen umgewandelt hatten, Fig. 373 *A*. Dieſelben ſtellten ſich bei der mikroſkopiſchen Unterſuchung als mächtig angeſchwollene Vegetationspunkte dar. An der Baſis dieſer birn- und apfelförmigen Gebilde waren kleine Blattſchüppchen angelegt, im Scheitel des geſchwollenen Vegetationshügels waren mikroſkopiſch kleine Blattwärzchen, Fig. 373 *B*. Die Gebilde beſaßen mehrere Gefäßbündel, welche mit denjenigen des tragenden Zweigleins in der gewöhnlichen Weiſe in Verbindung ſtunden, an der Baſis des Gallapfels blind endigten. In dem geſchwollenen ſaftigen Theil fand ſich die Eizelle, *ov* Fig. 373 *B*, welche die Höhlung ſo ausfüllte, wie etwa der primäre Embryoſack in dem Eikern der Coniferen. Vom Scheitel führte eine trichterförmige Vertiefung nach dem Orte der Eizelle, *a*, Fig. 373 *B*.

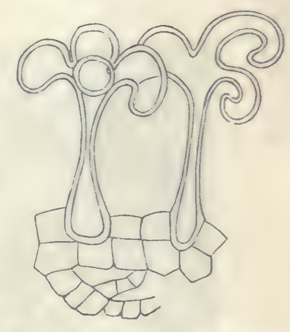


Fig. 372. Erineum (Phytoptusgalle) auf Alnus glutinoſa. Querſchnittsparthie des Laubblattes.

Aehnliche Gallknoſpen aus demſelben Material ſind in Fig. 374 dargeſtellt. In *A* hat der Vegetationspunkt mehrere Blattanlagen gebildet *f f'*,

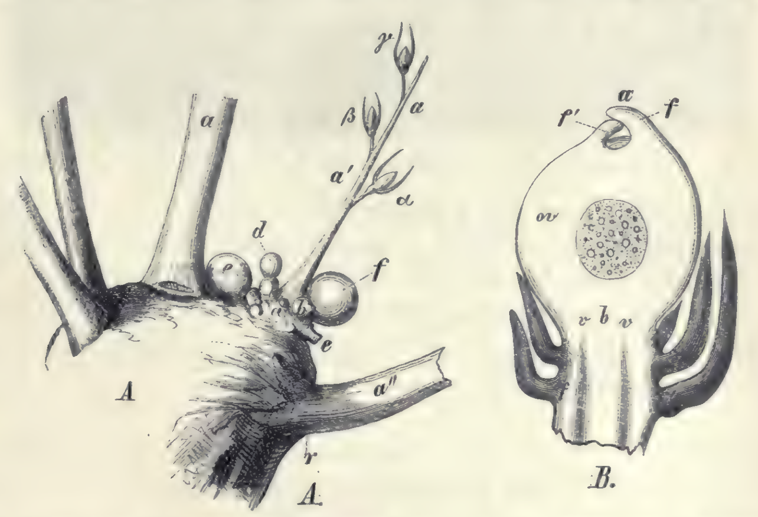


Fig. 373. Eichengallen. *A*. Eichenſtumpf mit zahlreichen Waſſerreiſern *a a''*, an einem dieſer *a'* die Gallenknoſpen α β γ. *B*. eine der Gallenknoſpen ſtärker vergrößert, *a* der Vegetationspunkt, *f' f* Blattwucherungen, *f f'* rudimentäre gefäßbündelloſe Schuppenblättchen von brauner Farbe, *ov* das Ei.

welche an der Baſis den birnförmigen Körper als trockenhäutige Schuppen umgeben, im oberen Pol ſind mehrere ſehr kleine Blattwärzchen. Der Querſchnitt der kleinen adventiven Zweiglein zeigte ſelbſt mehrmals adventive Gallſpröſschen der nächſten Ordnung, welche das Periderm der Zweig-

lein durchbrochen haben, Fig. 374. An dem oberen Sproß iſt der Vegetationspunkt *g* mit drei Blattanlagen im Durchſchnitt getroffen. Er hat hier noch die Geſtalt der gewöhnlichen vegetativen Blattknoſpen. Der andere Gallſproß dagegen hat ſich keulenförmig nach außen gewölbt und iſt im

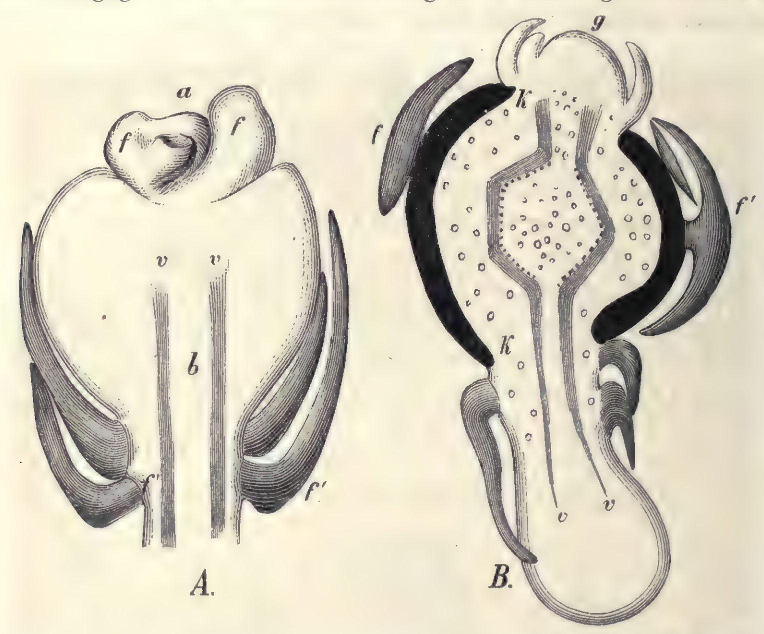


FIG. 374. Gallenknoſpen. *A.* iſolirt im Längsſchnitt. *v v* Gefäßbündel, *f f* Blattrudimente, *f' f'* die braunen Schuppenblättchen. *B.* zwei verſchieden alte Gallenknoſpen durchbrechen das Periderm des Zweiges *a'*.

Scheitel blattlos. Ganz ohne Zweifel geht aus dieſem Befunde hervor, daß hier Gallſproſſe als urſprünglich beblätterte vegetative Knoſpen durch den Reiz entſtanden ſind, bis zur dritten oder ſelbſt vierten Ordnung, wenn man von der erſten Adventivknoſpe an der Eiche aus rechnet. Die Blattrudimente unterſcheiden ſich, wie ſchon bemerkt, dadurch, daß ſie keine Fibrovaſalzweige erhalten.

---

§ 34. Evolution des Baumes.

Die groben Züge der Evolution des Baumes laſſen ſich in dem Folgenden darſtellen: von einer gegebenen Keimknoſpe aus gliedert ſich das Syſtem in Blattanlagen und einen Reſt des Vegetationspunktes, welcher ſtetig von Neuem die Abſcheidung neuer Blätter beſorgt. Zu jedem Blatte gehört eine mikroſkopiſch kleine Anlage eines zugehörigen Axillarſproſſes. Die Hauptrichtung des Keimſtammes bleibt eine Zeit lang die herrſchende.

In der Richtung der vorhandenen Bahn und in deren Fortſetzung wird dadurch die Intenſität von Zuwachs und Leitung dauernd am größten. Die Erſcheinung, welche mit dieſer Vorausſetzung ſcheinbar im Widerſpruch ſteht, iſt die häufige Ablöſung einer Knoſpe der erſten durch eine ſolche von der zweiten Ordnung.

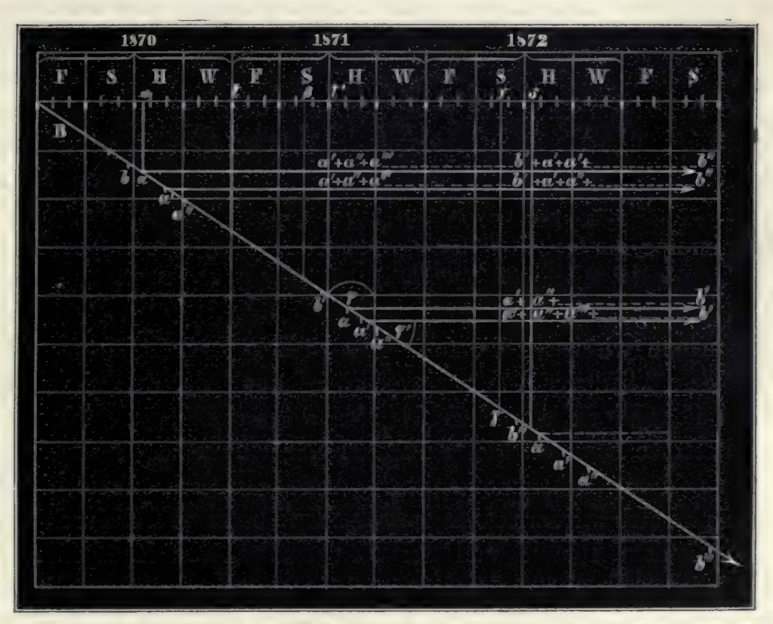


Fig. 375. Die Axe *F S H* u. ſ. f. bedeutet die Zeit; ſie iſt eingetheilt in Monate und erſtreckt ſich in dem Schema über drei Jahre. In der Richtung $B\ b'''$ wächſt der tragende Aſt eines Laubbaumes der gemäßigten Zone, die Arbeit, welche derſelbe verrichtet, ſetzt ſich zuſammen aus der Anlegung einer beſtimmbaren Anzahl von Axillarſproſſen $a\ a'\ a''$ und aus der Streckung $b\ b'\ b''$ in der Richtung des Pfeiles. In jeder der ſecundären Pfeilrichtungen von $a\ a'\ a''$ ausgehend wiederholt ſich derſelbe Proceß. Die Richtung $B\ b'''$ aber iſt um die volle Arbeit eines Jahres vorausgeeilt. Laſſen wir das Syſtem zurückfließen nach dem Punkt α (1870), ſo erhalten wir in α den Zeitpunkt, wo genau in der Spitze der Hauptrichtung zwei Knoſpen ſtehen. Bis zu einem ähnlichen Zeitpunkt β (1871) iſt in der Hauptrichtung die Arbeit $b' + (a + a' + a'' \ldots)$, in der Seitenrichtung aber nur die Arbeit $(a + a' + a'' \ldots)$ geleiſtet. Bis zu dem ähnlichen Zeitpunkt $\gamma\ \delta$ (1872) iſt in der Hauptrichtung die Arbeit $b' + b'' + 2\,(a + a' + a'' + \ldots)$, in der Seitenrichtung von α (1870) gerechnet nur $b' + (a + a' + a'' + \ldots)$ geleiſtet. Die Zuſtände $b\ b'\ b''$, entſprechend $\alpha\ \beta\ \gamma$, ſind deßhalb die critiſchen, weil das Syſtem ſoeben den plaſtiſch-flüſſigen Zuſtand verlaſſen hat um zu verhärten, und weil um dieſe Zeit die Temperatur wächſt.

Dieſe Erſcheinung beſchränkt ſich nicht auf die Laubhölzer (Tilia, Ulmus u. a.) allein, ſie kommt auch bei den Nadelhölzern, wennſchon in beſchränkterem Maße vor. Bei einer Abmuſterung vor mir liegender junger Fichtenpflanzen finde ich 10 % im erſten, 12 % im zweiten Jahre ſolcher, welche ihren Haupttrieb im mikroſkopiſch kleinen Zuſtande eingehen ließen und durch eine Seitenknoſpe erſetzten.

Dieſe Uebertragung iſt die Folge einer Erſchöpfung des Hauptwirthſchafters. Man kann dieſelbe verſtehen, wenn man auf die Evolution des Zweigſyſtems in unſerer Zone achtet.

Verfolgen wir die Ordnungen vom 1. Januar ab, ſo finden wir den Hauptwirthſchafter ſtets um die volle Arbeit eines Jahres mehr belaſtet wie den Wirthſchafter der zweiten Ordnung.

Nennen wir nämlich die Summen der inneren und äußeren Arbeit in jeder Knoſpe, welche dazu verwandt wird, um von dem Vegetationspunkt ein Blatt und einen dazugehörigen Axillarſproß anzulegen, $a\ a'\ a''$ u. ſ. f., den Geſammtaufwand für die einmalige Streckung des durch die Knoſpe hinzugewachſenen (angelegten) Hauptſtammſtückes b, ſo iſt für mehrere Jahre die Arbeit an dem ſich ſelbſtähnlich wachſenden Syſtem unter der Vorausſetzung, daß der Wirthſchafter der erſten Ordnung nicht abgelöſt und daß ein Johannistrieb nicht gebildet wird, wenn wir von einer einzigen Knoſpe ab rechnen, und wenn wir beginnen mit dem Zeitpunkt, wo die Hauptknoſpe die Arbeit b für das laufende Jahr ſoeben beendet, und ſich geſchloſſen, d. h. in ihr Niederblatt convolut eingehüllt hat, in dem Schema Fig. 375 dargeſtellt.

Betrachten wir zuerſt die ſchiefe Reihe $B\ b$ u. ſ. f.

Auf dem Theil der Axe, welcher im Zeitpunkt der Betrachtung bereits vorhanden iſt, und welcher einer früheren Arbeitsleiſtung der Knoſpe entſpricht, ſitzt eine Hauptknoſpe, welche nach der Streckung b_0 in dem Zeitraum $S\ H\ W\ F$ die Seitenknoſpen $a\ a'\ a''$ anlegte, ſich öffnete, die Arbeit $b_,$ leiſtete und ſich wieder ſchloß, 1870 u. ſ. f., 1871 u. ſ. f. durch $b_{,,}\ b_3\ b_4$. Jede der in dem Raume und der Zeit conſecutiven Knoſpen zwiſchen α und β wiederholt dieſen Proceß in den Horizontalreihen. Die Zeiten, in welchen das ſich ſelbſt ähnliche Syſtem in den einzelnen Knoſpenpunkten die beſagten Arbeiten leiſtet, ergeben ſich dann aus den Projectionen von $a\ a'\ a''$ u. ſ. f., $b'\ b''$ u. ſ. f. auf die Axe $F\ S\ H\ W\ S$ u. ſ. f. Man wird am beſten dieſe Summation der Arbeiten verfolgen, wenn man ein mehrjähriges Syſtem der Buche abſchneidet und durch die an demſelben äußerlich ſichtbaren Jahrestriebe in Gedanken zurückfließen läßt, bis alle Auszweigungen, wie dieß ja ſelbſtverſtändlich kommen muß, in einer Knoſpe angelangt ſind.

Man ſieht leicht, daß der Wirthſchafter, d. h. die Knoſpe, der erſten Ordnung, wenn er von dem Zeitpunkt α anfangend nach γ kommt, gerade noch einmal ſo viel geleiſtet hat, wie irgend einer der conſecutiven Wirthſchafter der zweiten Ordnung.

Kurz nach dem Zeitpunkt α, Fig. 375, möge der Wirthſchafter der erſten Ordnung die erſte Knoſpenanlage der zweiten Ordnung gebildet haben, dieſe verharrt in der Hauptknoſpe bis zum Zeitpunkt β, wo die Streckung derſelben erfolgt.

Bis jetzt hat der Hauptſproß die Arbeit

$$a' + a'' + \ldots a_n + b',$$

von dem Zeitpunkt β bis γ hat er nochmals $a + a' + a'' + \ldots a_n + b''$

geleiſtet. In dem ganzen Zeitraum α bis γ hat der Seitentrieb nur einmal die Arbeit

$$a + a' + a'' + \ldots a_n + b'$$

aufzuweiſen.

In dem Zeitpunkt γ, kurz vor Knoſpenausbruch, ſtehen bei der Buche zwei faſt gleiche Knoſpen in der Nähe der Spitze in gleicher Phaſe. In dem Zeitpunkt δ, alſo kurz nachdem beide die Arbeit der Streckung geleiſtet, ſtehen in der Kette $B\ b\ b'$ zwei ungleichwerthige Knoſpen an der Spitze, die eine hat von dem Zeitpunkt a (71) noch gar keine Anhäufung ausgeführt, die andere hat hingegen zuletzt n mal a und die Arbeit b'' ausgeführt. Dieſer Zeitpunkt iſt der kritiſche für den Haupttrieb:

1⁰ weil die Arbeit b ſoeben erſt von ihm geleiſtet wurde (Streckung und größter Athmungsaufwand, ſowie größte Verdunſtung auf die kleinſte Maſſe der Strombahn);

2⁰ weil von jetzt bis zum nächſt ähnlichen Zeitpunkt für gleiche Zeit von den Blättern aus der Leitungswiderſtand für das plaſtiſche Material nach allen Wirthſchaftern der höheren Ordnung kleiner iſt, wie nach dem Hauptwirthſchafter.

Die plaſtiſche Maſſe in dem Blatte, welches in der Kette $b'\ b''$ und der Phaſe $S\ H\ W$; $F\ S$ (71—72) entſteht, hat zunächſt zwei Bahnen: ſie ſtrömt zurück in einer Bahn, welche die geringſten Winkelabweichungen beſitzt, oder ſie ſtrömt zurück nach der Kette $B\ b'$ u. ſ. f., und von da nach der Richtung des Pfeils, alſo vorwärts. Leicht iſt nun einzuſehen, daß in den Bahnen $B\ a_n\ b'$ und $b'\ a\ b'$ oder umgekehrt, gleiches Gefälle und gleicher Druck, allgemein gleiche ſtromerhaltende Kraft, ſowie gleiche Länge vorausgeſetzt, der Widerſtand abhängt von den Winkeln $\varphi\ \varphi'$. Das Theilchen muß in einer ſpitzwinkligen Bahn eine Verzögerung gegenüber einer ſtumpfwinkligen Bahn erfahren.

Hierauf beruhen mehrere der wichtigſten Vorgänge an dem Baume:

1⁰ das gelegentliche Eingehen, Abſterben des Haupttriebes im Zeitpunkt der Blattentfaltung, Hainbuche, Buche, Eiche, alle mit decuſſirten Blättern und Knoſpen; die geſetzmäßig alljährliche Uebertragung der Hauptwirthſchaft an den Wirthſchafter der nächſten Ordnung: Linde, Ulme (Morus);

2⁰ das Zurückfließen des in der Lichtperiode erhaltenen Stärkeüberſchuſſes über das ganze rückwärts belegene Syſtem;

3⁰ der einjährige Umtrieb beginnt mit der Verwendung der ſtromerhaltenden Kraft des vorjährig erhaltenen Stärkereſervoirs, die neuangelegten Strombahnen divergiren alle ſo, daß der Winkel von dem Urſprung B an gerechnet (φ) ein ſtumpfer iſt, d. h. die urſprüngliche Anlegung geſchieht ſo, daß der Aufwand (Widerſtand) der in der Richtung des Pfeiles geleiſteten Arbeit am kleinſten iſt.

Die hier zu Grunde gelegte Modalität der Verzweigung der Laubbäume iſt die vollſtändigſte Anpaſſung an die climatiſche Periode.

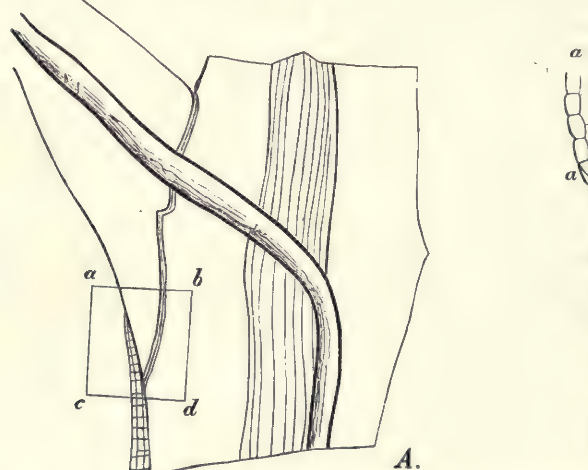
Werfen wir nun einen Blick auf alle niederen Formkreiſe, ſo finden wir:

a) Differenzirung einer Endknoſpe überhaupt erſt bei höheren Algen, Charen, Mooſen u. ſ. f.;

b) Knoſpenſchluß von den höheren Cryptogamen ab, aber ohne beſonders differenzirte Knoſpenſchuppen;

c) deutlicher Knoſpenſchluß mit Knoſpenſchuppen von den Abietineen ab nach den Phanerogamen hin, am ausgeprägteſten bei Dicotylenbäumen.

Den niederen, wennſchon perennirenden Pflanzen fehlt der Knoſpenſchluß und den niederen Algen und Pilzen jede Anlage zur Knoſpe.



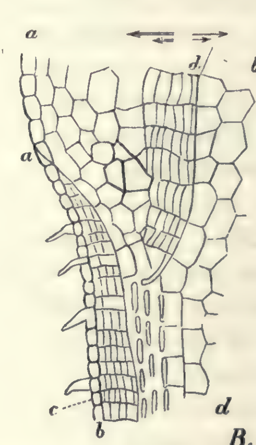


Fig. 376. Aesculus Hippocaſtanum. Bruchſtelle des Blattes. *A* Radialdurchſchnitt durch die Einfügung des Blattes in den Zweig, an der Innenſeite des erſten Jahrringes läuft das primäre Gefäßbündel in das Blatt. *a b c d* ein Flächenſtückchen, in der Bruchſtelle des Blattſtieles in *B* vergrößert. *a b* Periderm des Zweiges. *d* Gewebeplatte von radial geordneten Zellen, in welcher der Riß erfolgt, welcher den Blattſtiel in der Richtung der Pfeile von dem Zweige trennt.

a) Blattfall[1]).

Wenigſtens bei unſeren Laubbäumen und bei einer großen Anzahl von ausländiſchen iſt der Blattfall in einer beſtimmten Stelle der Blattbaſis durch eine beſondere Gewebeart in der Bruchfläche vorbereitet. Es ſind tafelförmige Zellen, welche zur Zeit des Blattfalles in eine nachträgliche Auflockerung gerathen und den Bruch des Blattſtieles bewirken. Dieſe Zellen füllen ſich vor dem Blattfalle mit Amylum. Auch das Abfallen der

---

[1]) Studienobjecte ſind Labiaten, Scrophularineen, insbeſondere die Amygdaleen, wo die hohle Axe einen ähnlichen Gürtel anlegt.

Corollen bei vielen Blüthenpflanzen beruht im Wesen der Sache auf demselben Verhalten in einer Ringzone solcher Zellen.

Wir wählen hier als Beispiel das Blatt von Aesculus. Die Fig. 376 *A B* zeigen den Durchschnitt durch die Einfügung desselben in den Zweig. In *A* ist die Trennungsfläche dargestellt. Eine kleine Parthie des Gewebes, durch *a b c d* bezeichnet, ist in Figur *B* stärker vergrößert. Schon im Juli und August ist diese Differenzirung eingeleitet.

Zur Zeit des Bruches lockert sich die Gewebeparthie in Richtung der Pfeile, Fig. *B*, das Gefäßbündel wird unter der Last des Blattes zerrissen. Das Blatt fällt.

b) Zweigfall[1]).

Der Zweigfall kommt bis zu mehrjährigen Zweigen in demselben Sinne erblich vor bei der Eiche, Pappel und vielen Weidenarten. In der Einfügung des Zweiges, Fig. 377 *A*, bricht derselbe ab mit einer ganz glatten Narbenfläche.

Bei den Eichen und Weiden fällt der Zweig oder ein Zweigsystem bis zu drei Ordnungen so ab, daß die Bruchfläche *b*, Fig. 377 *B*, vollständig glatt tellerförmig erscheint. Dem Bruch geht eine Holzwucherung voraus, welche einen gelenkartigen Wulst in der Astbasis bildet. Bei den Weidensprossen entwickeln sich unter geeigneten Bedingungen die beiden Axillarsprosse der Nebenblätter, so daß in der Nähe der Bruchfläche nochmals eine Verjüngung erfolgt.

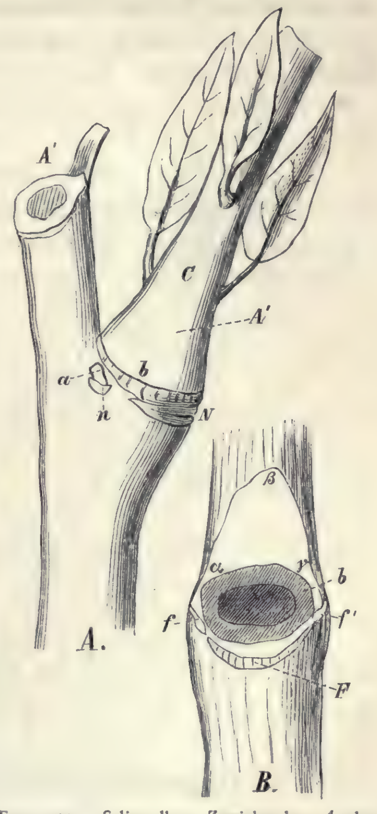


FIG. 377. Salix alba. Zweigbruch. *A.* der tragende, *C* der später hinfällige Zweig der nächst höheren Ordnung, *N* Narbe des Blattstieles, *n* Narbe des Nebenblattes. *B.* der tragende Zweig nach dem Hinfall des Zweiges *C*, α γ die Bruchfläche, in *f f'* die Stipularknospen noch ruhend, α β γ die Abplattung an dem Zweig, an welchem die Knospe anlag.

Der Zweigfall der Nadelhölzer wird durch Eichhörnchen veranlaßt. Dort fehlt jede Vorrichtung, welche den Faserbruch des sehr zähen Holzes ermöglichte.

---

1) A. RÖSE, Ueber die Absprünge der Bäume. 109. Ueber die Fichtenabsprünge. Bot. Ztg. 65. — Dr. GONNERMANN, Ueber die «Abbisse» der Tannen und Fichten. 265. Bot. Ztg. 65. — N. J. C. MÜLLER, Zweigordnungen. Bot. Untersuchungen. Bd. I. VI. Abhandl. C. Winter. Heidelberg. — M. KIENITZ, in G. HEYER's Forst- und Jagdzeitung. 1877. Ueber das Aufasten der Waldbäume.

Die Narben der Blätter und hinfälligen Zweige oder mindeſtens deutliche Spuren laſſen ſich bei vielen Bäumen noch lange zeigen[1]). Namentlich wenn das Periderm nicht durch Borkenriſſe deformirt wird.

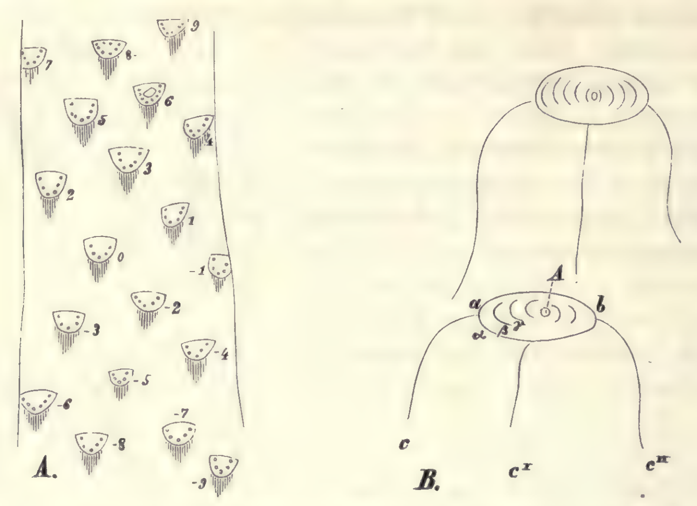


Fig. 378. *A.* Cuſſonia ſpicata. Aufgewickelter Stammcylinder. Die Paraſtichen der Blätter durch Zahlen markirt *o 2*, *o 3*, *o 5*, *o 8* nach oben und unten. *B.* Populus angulata. Zwei Blattnarben, 30 Jahre nachdem die Blätter abfielen, vergl. Fig. 297. *c c' c''* Korkleiſten entſprechend den Gefäßſpuren.

In unſerer Figur 378 ſind die Blattnarben und die Figuren von Korkleiſten in der Rinde, welche den Verlauf der primären Gefäßbündel kennzeichnen, noch nach 10—15 Jahren deutlich.

A. Allgemeine Gesetze der Blatt- und Zweigstellung[1]).

Die Reihe $^1/_2$ $^1/_3$ . . . . $^1/_\infty$.

Die Auszweigungen an einem gegebenen Stamme ſind regellos oder dichotomiſch bei den Algen, Pilzen, Flechten. Erſt in der Claſſe der Laubmooſe ſtehen die Blätter und Axillarſproſſe in dem Sinne geſetzmäßig wie bei unſeren Coniferen und Dicotylenbäumen[2]).

Die Winkel, welche von den Projectionen der Blätter auf eine zum Stamm normale Ebene eingeſchloſſen werden, ſind conſtant. In der Natur ſollten alle Winkel vorkommen, welche ſich bilden laſſen in der Reihe

$$^1/_1 \; ^1/_2 \; ^1/_3 \; ^1/_4 \; . \; . \; . \; . \; . \; ^1/_{100} \; . \; . \; . \; . \; . \; ^1/_\infty .$$

---

[1]) Studienobjecte: Pappeln, Buchen, Nadelhölzer bis zu mehreren Jahrzehnten (ſ. ſpez. Botanik).

[2]) Aus der Morphologie vorgegriffen iſt der Satz: «Wenn man von dem tieferen älteren Blatt und ſeinem zugehörigen Axillarſproß (ſpäter eventuell Aſt) zu dem höheren und dem nächſt höheren in der gleichen Richtung den Stamm umkreiſend aufſteigt, ſo ſind die Intervalle von Blatt zu Blatt gleiche Winkel in der Querſchnittsprojection».

In Wirklichkeit aber kommen nur die einfacheren erſten Glieder dieſer Reihe vor bis zum Werthe $^1/_4$ und die Mittelwerthe zwiſchen $^1/_2$ und $^1/_3$, $^1/_3$ und $^1/_4$. Dieß beruht zum Theil darin, daß die räumliche Anordnung nach höheren Werthen in der vorſtehenden Reihe der Entwickelung nachtheilig oder von geringerem Vortheil iſt, wie die Anordnung nach niederen Werthen $^1/_2$ $^1/_3$ $^2/_5$ $^3/_8$ (ſ. allgem. Morphologie, § 12 A).

B. Discussion der Reihe $n + n^2 + n^3 + \ldots.$

Da zu jedem Blatte, welches in der Hauptknoſpe entſpringt, ein Axillarſproß gehört, ſo iſt die Deſcendentenreihe der Zweige zu einer gegebenen Hauptknoſpe:

$$1 + n + n^2 + n^3 + \ldots..,$$

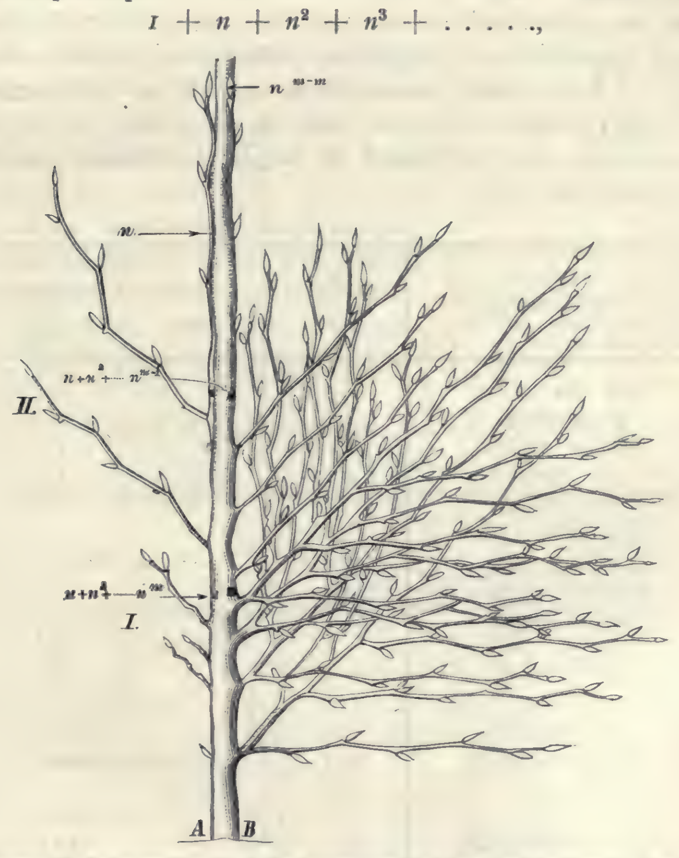


FIG. 379. Schematiſche Zuſammenſtellung: *A* eine Buchenpflanze, drei Jahre nach der Ausſaat, ſo wie ſie in Wirklichkeit gewachſen iſt. *B* dieſelbe unter der Vorausſetzung, daß bei jedem kommenden Trieb die Intenſität im Wachsthum und der Knoſpenanlegung des erſten Jahres herrſche. Nebenan iſt in Form von geometriſchen Reihen die Zahl der Knoſpen vermerkt, welche in je den zugehörigen Jahren angelegt werden.

worin n die Anzahl der Blätter bedeutet. Nehmen wir ein fünfjähriges Baumſyſtem, Fig. 379, ſo würde dieß, wenn alle mikroſkopiſch angelegten

Knoſpen zur vollen Weiterbildung kämen, beſtehen von unten nach oben aus der Etage I.:

$$n + n^2 + \ldots\ldots n^m ,$$

wo ^{m} die Anzahl der Jahre bedeutet.

Die II. Etage wäre gleich:

$$n + n^2 + \ldots\ldots n^{m-1},$$

und ſo fort bis zur letzten, welche n^{m-m}, d. h. die Hauptknoſpe allein enthält.

Je eine höhere Etage, Fig. 379, würde eine Ordnungszahl der Zweige weniger enthalten. Immerhin müßte die Ordnungs- und Knoſpenzahl raſcher anwachſen, wie dieß in Wirklichkeit beobachtet wird, namentlich wenn man für die Laubbäume beachtet, daß auch zu jedem Nebenblatte eine Knoſpe wenigſtens der mikroſkopiſchen Anlage nach gehört. Soviel Jahre, ſoviel Ordnungen, wenn ſchon n im Allgemeinen ſchwankend gedacht werden kann.

Auf der linken Seite unſerer Figur 379 iſt das Syſtem dargeſtellt, wie es wirklich gewachſen iſt, und wenn wir einen Blick auf die Tabelle[1]) werfen, ſo finden wir, daß immer die Anzahl der Ordnungen kleiner iſt, wie die Anzahl der Jahre.

[1])

Benennung.	Höhe. m	Alter. Jahre.	Ordnungs-Anzahl.
Salix alba	3	10—12	5
« ſtipularis	3	10—12	7
Populus angulata	4—5	10—12	4
« tremula	4—5	10—12	5
« dilatata	23	—	9
Betula alba	8	—	9
« «	4	—	7
Corylus heterophylla	3	10—12	7
Alnus glutinoſa	3	10—12	4
Fagus	3	10—12	5
«	9	—	7
«	8	—	10
« Hochwald	25	—	9—10
Quercus pyrenaica	3	10—12	5
« cerris	3	10—12	5
«	15	—	8
« Hochwald	25	—	10
Acer campeſtre	3	10—12	6
« rubrum	3	10—12	5
« negundo	3	10—12	5
Fraxinus excelſ.	3	10—12	5
«	7	—	7
«	12	—	9

Drei Momente kommen hier in Betracht:

1° der Baum ſtößt frühzeitig die an Ordnungszahl hochzähligen unteren Aſtſyſteme ab;

2° jeder dominirende Aſt iſt eine Wiederholung des Schaftes in dieſer Hinſicht;

3° die jeweilige Hauptknoſpe geht bei vielen Bäumen alle Jahre ein und wird durch die oberſte Axillarſproſſe für je das nächſte Jahr abgelöſt.

Hiedurch ſinkt die Ordnungszahl in dem Haupttrieb um eins, denn denkt man ſich die Narbe *a*, Fig. 380, als Zweig verlängert, ſo wird dieſer zur erſten, die jetzt noch ruhende Knoſpe würde zur zweiten Ordnung [1]).

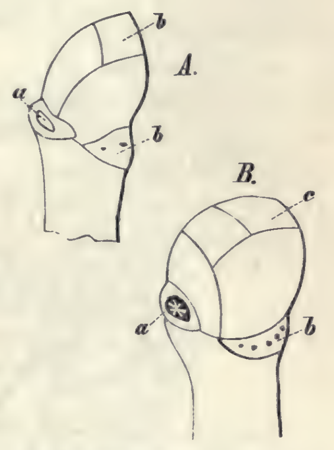


Fig. 380. *A.* Winterzuſtand der Zweigſpitze bei der Ulme. *B.* ebenſo bei der Linde, *a* die Narbe des im vorhergehenden Sommer abgefallenen Zweigſtückes.

Bei den Weiden und Pappeln, bei Carpinus und Fagus kommt nicht allein die dem Laubblatt zugehörige Axillarknoſpe, ſondern auch die Knoſpe jedes Nebenblattes unter günſtigen Umſtänden zur vollen Entfaltung. Man kann ſagen, daß zu einem Laubblatte der Weiden drei Zweigknoſpen

[1]) N. J. C. Müller, Bot. Unterſuchungen. Bd. I. S. 497 ff. Bd. II. S. 55 ff.

Benennung.	Höhe. m	Alter. Jahre.	Ordnungs-Anzahl.
Ulmus effuſa	3	10—12	4—5
« «	8	10—12	9
Tilia europæa	3	10—12	5
« «	15	—	9
Juglans regia	5	10—12	4
«	4—3	20	7
Aesculus	6	—	7
Larix	10	20—30	5
«	15	—	5
P. Strobus	10	20—30	6
« «	—	14	5
« ſilveſtris	—	14	5
Picea excelſa	6	—	7

mit zweijährigem Umtriebe gehören. Im günſtigen Falle verläuft die Evolution der Zweige in der Achſel des Laubblattes in dem folgenden Sinne:

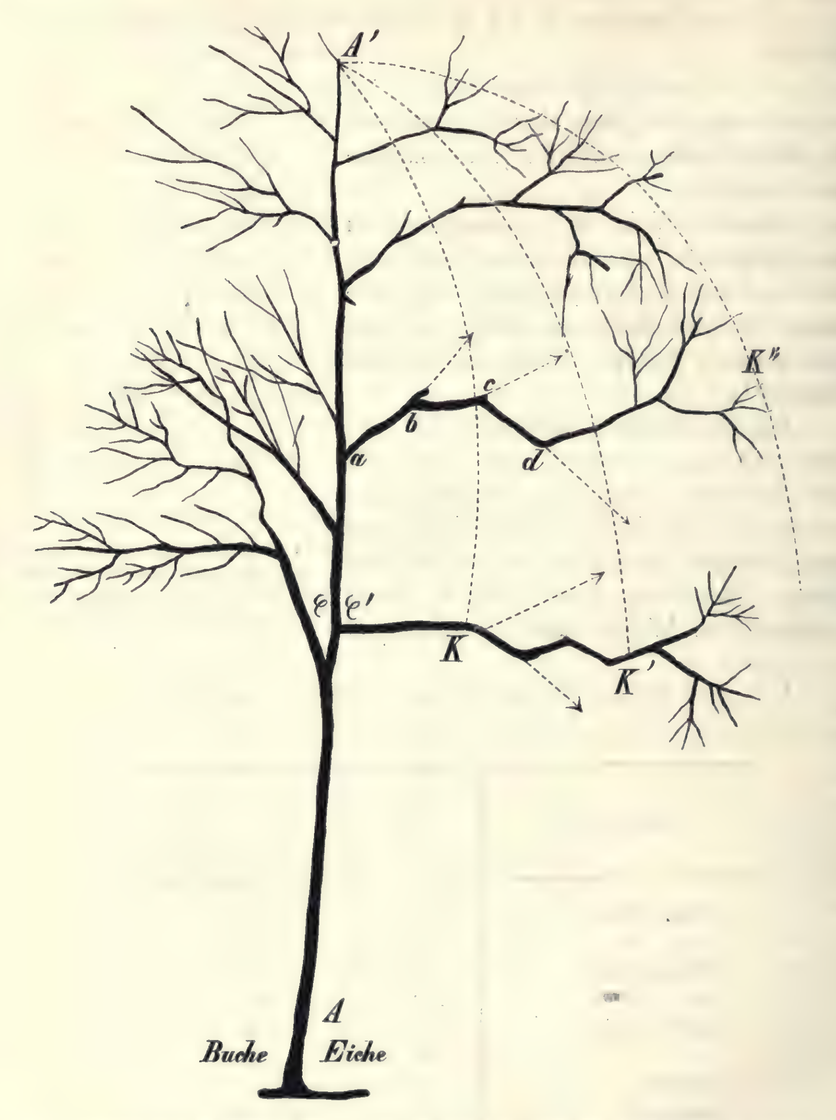


Fig. 381. Silhouette (nach der Natur), Hochwaldform der Buche und Eiche, von einem Haupttrieb (Schaft *A A'*) zuſammengeſtellt. Die Buche unterſcheidet ſich im Weſen durch den Winkel der dominirenden Aeſte von der Eiche, man beachte φ φ'. Der Buche fehlt der Apparat des Abſtoßens ſpäter hinfälliger Aeſte und ſie gleicht die Winkel *a b*, *c b*, *c d* (ſ. d. Eiche) raſch aus. Die Zickzackformen des dominirenden Eichenaſtes in der Hochwaldform ſind entſtanden durch das Herausbrechen trockener Zweigſyſteme, welche in der Richtung der Pfeile mit zahlreichen Ordnungen, die in der Figur weggelaſſen wurden, ſich ſo lange behaupteten, bis durch das Hinausſchieben der Blattmaſſen von *A' K* nach *A' K'*, nach *A' K''* u. ſ. f. ihre Exiſtenz unmöglich wurde; zu beachten iſt, daß eine Periode *a b*, *b c* u. ſ. f. Jahrzehnte einſchließt.

a) erſtes Jahr: Entwicklung der medianen Knoſpe über der Blattnarbe zum beblätterten Zweig und Abſtoßen dieſes am Ende der Vegetationsperiode durch eine glatt umſchriebene Bruchfläche;

b) zweites Jahr: Ruhe (oder Entwicklung der lateralen Nebenblattknoſpen *a* über der Narbe, wenn der tragende Zweig abgeſchnitten und in Waſſer geſtellt wird);

c) gelegentliches Austreiben der beiden Nebenblattknoſpen im zweiten oder dritten Jahre, wenn der tragende Zweig am Stamm verbleibt.

Wir ſehen ſomit, daß im äußerſten Falle, wenn die Axillarknoſpen alle mit der gleichen Intenſität und nach dem Schema ſich entfalteten, der Baum überfüllt ſein würde.

Gerade ſo wie die Weide verhalten ſich aber alle Betulineen, Cupuliferen, alle Carpineen und Ulmaceen und viele andere, inſofern zu jedem Inſertionsareal eines Blattes drei Knoſpenanlagen gehören, von welchen zwei im mikroſkopiſch kleinen Zuſtande und unter Umſtänden ohne Anlegung ſeitlicher Organe Jahre lang verharren, um, durch gelegentlichen Lichtgenuß gereizt, als beblätterte Sproſſe über die Stammfläche hervorzutreten.

Bei den decuſſirten Laubbäumen: Fraxinus, Acer, Aesculus, wo die Nebenblätter fehlen, kommen die mikroſkopiſch kleinen Axillarſproſſe der Niederblätter gelegentlich (und in dem gleichen Sinne, wie oben bei den Nebenblättern der Laubbäume) zur Entfaltung.

Jeder künſtliche Eingriff in das Zweigſyſtem, ſoweit er einen Wechſel

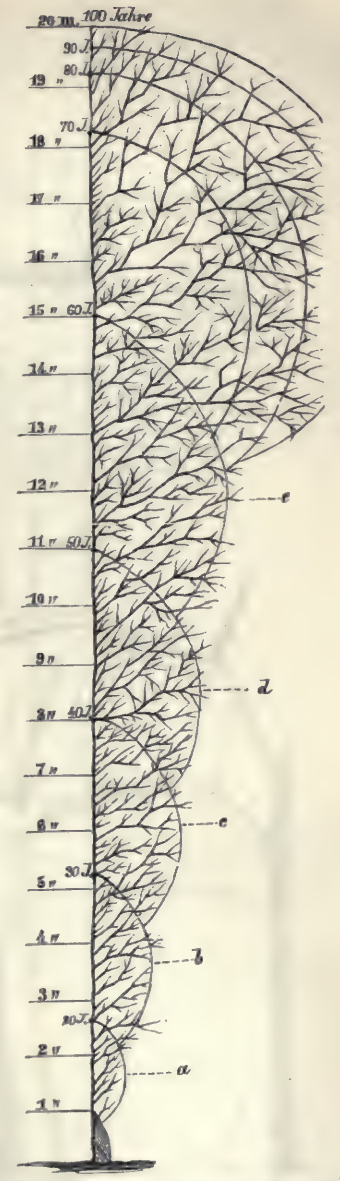


Fig. 382. Schematiſche Zuſammenſtellung über die Kronenentfaltung einer 100jährigen Buche. Die Curven *a b c* u. ſ. f. ſtellen den Kronenumfang dar, links ſind verzeichnet die zugehörigen Längenmaße in Metern und das Alter. Trägt man die Längenintervalle für 10 Jahre hintereinander in eine Abſciſſenaxe als Function der Zeit, ſo erhält man eine periodiſche Function, die Function des Zuwachſes. Die Zahl der Zweige iſt nach Meſſungen geſchätzt; von *e* ab beginnt die Region der im 100. Jahre noch herrſchenden Aeſte, alle Aeſte in *a b* bis *e* werden abgeſtoßen.

in der Beſtrahlung im Gefolge hat, weckt die ruhenden Knoſpen der Neben- und Niederblätter. Gerade durch den Vorrath, welchen der Baum in den ruhenden Knoſpen beſitzt, vermag er ein Correctivverfahren einzuſchlagen gegen Störungen, welche von außen eindringen. Nennen wir die medianen Knoſpen der Cupuliferen, Betulineen, Carpineen u. a. m. das Ausſaatmaterial für die Lichtfläche (den Kronenumfang) des Jahres *m*, ſo iſt die gewöhnliche Vermehrung einer Knoſpe desſelben durch die Jahre $m + 1$, $m + 2$ u. ſ. f. ausgedrückt durch die geometriſche Reihe $1 + n + n^2 + n^3 + \ldots$, wo n die Anzahl der medianen Knoſpen eines Jahrestriebes bedeutet. Offenbar wächſt aber für das Syſtem die Gefahr, einen Theil der Glieder durch äußere Einflüſſe zu verlieren, da jedes neue Glied in der vorſtehenden geometriſchen Reihe um eine gewiſſe Länge von dem Schaft (reſp. der Wurzel) entfernt und hinausgeſchoben wird, in Richtungen, welche durch die ſeitliche Divergenz der conſecutiven Blätter und durch den Winkel zwiſchen zwei conſecutiven Zweigordnungen beſtimmt ſind.

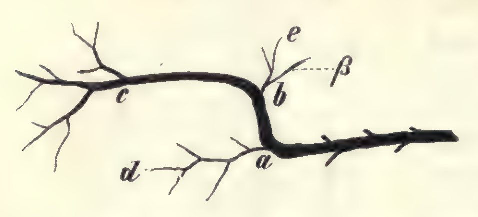


Fig. 383. Buche-Silhouette. Aſt der V. Ordnung in einem Hochwaldbaum. Die Ebene *a b c* iſt die Inſertionsebene der Zweige. Die relative Hauptaxe *a* iſt einmal von *a* nach *d*, zum zweitenmal in dem Aſt der VI. Ordnung *a b* von *b* nach *e* unterdrückt. Es entſteht ein zweimal geknieter Aſt *b c*, welcher ſich nach dem Typus der Wickelinfloreſcenzen aus drei Zweigordnungen zuſammenſetzt.



Fig. 384. Silhouette. Parthie aus der Krone 80jähriger Kiefern.

Ein Ueberblick über die Evolution einer 100jährigen Buche, Fig. 382, zeigt, daß vom erſten Jahre die Krone allmälig fortrückend an Umfang gewinnt, während die jeweilig tiefer ſtehenden durch Verſchattung eingehen. Die Curven *a b c d e* ſtellen die Kronenſchalen zum *20., 30., 40., 50., 60.*

Lebensjahre dar. Ein Theil der herrſchend gewordenen Aeſte geht mit hinüber aus einer in die folgende Kronenform. In der Figur ſind links noch die zugehörigen Höhen verzeichnet. Die Zahl der verzeichneten Auszweigungen iſt aus Abzählungen gefunden.

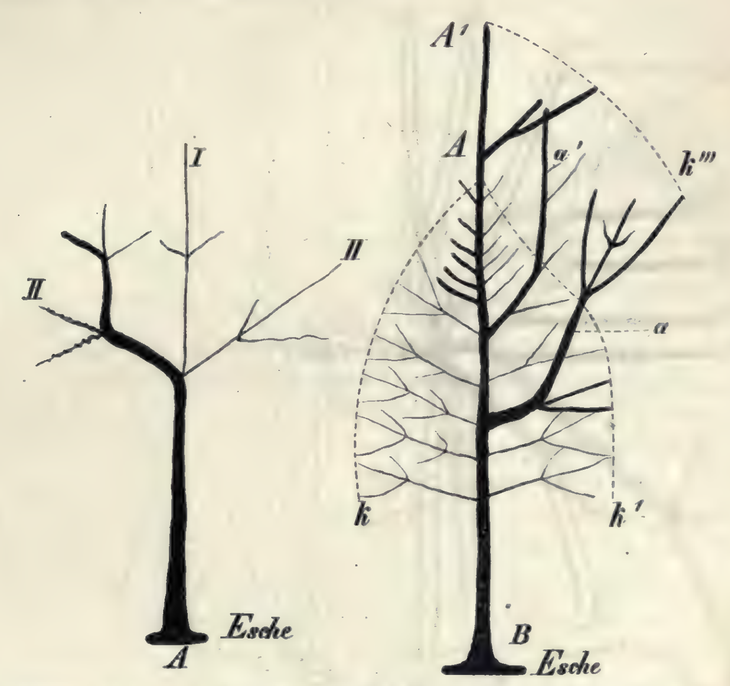


Fig. 385. Silhouette der Eſche in zwei Phaſen. *A* junger Baum dem morphotiſchen Geſetz eine Zeit lang folgend, bis die Haupttriebe eingehen und ein Aſt der 5. oder 6. Ordnung dominirend wird. In *B* iſt *k A k'* die Krone eines älteren Baumes mit dem Typus der jüngeren Phaſe und es iſt zum Ausdruck gebracht, wie für das höhere Alter die Krone aus dominirenden Aeſten *a a'* zuſammengeſetzt wird. Beide Aeſte ſind aus zwei Ordnungen verſchmolzen, wie man aus der Figur erſieht.

Durch das Eingehen des Haupttriebes fließt der dominirende Aſt zuſammen aus den Zweigſtücken mehrerer aufeinander folgender Ordnungen.

An dem gegebenen Zweigſyſtem der Fig. 383 beobachten wir der Anlage nach den tragenden Aſt *a d*, an welchem *a b e* die erſte, β die zweite Ordnung bildeten. Da nun *a d*, *b e* ſpäter hinfällig, das Stück *a b* mit der erſten Ordnung und mit *c b* verſchmilzt, ſo ſetzt ſich der ſpäter herrſchend werdende Aſt zuſammen aus einem Stück der erſten, einem Stück der zweiten *a b* und einem Stück der dritten Ordnung *b c*, bezogen auf den tragenden Aſt oder Stamm.

Dieß gilt ſelbſt für die mit ſtreng terminaler Sproßfolge wachſenden Coniferen. An dem Stamm, Fig. 384, iſt der ſpäter zum Schafte werdende Aſt *II* ein Zweig der erſten Ordnung geweſen. In dem Stamme *I* würden,

wenn alle Zweige, welche der Anlage nach vorhanden waren, ausgebildet wären, 5—6 Ordnungen vorhanden ſein, der Haupttrieb aber iſt in dem Winkelſtück *a I* einmal durch den Zweig *II* abgelöſt und zur Seite ge-

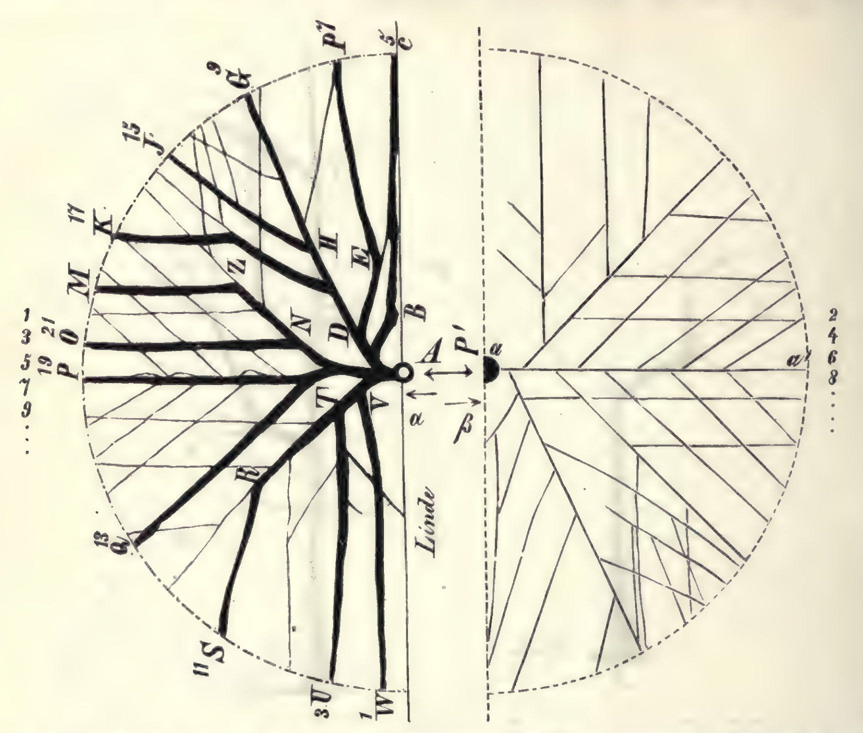


Fig. 386. Schema der Evolution der Linde, nach Beobachtungen in der Natur aufgenommen. Von dem Punkt *A* aus, welcher den Querſchnitt des Schaftes darſtellt, divergiren alle Aeſte der erſten Ordnung nach ½, ſo daß *A* mithin nur in der Richtung *A P* (19) und *A P'* bezweigt iſt. Die Figur iſt ein Querſchnitt der Krone, und da ſie ſymmetriſch gedacht werden kann, ſo genügt die Hälfte der Projection, um die Verhältniſſe, welche uns intereſſiren, zu demonſtriren. Wenn die Zweige der erſten Ordnung zu den dominirenden Aeſten erſter Ordnung würden, ſo könnte auf dieſer Seite der Krone nur der eine Aſt *A P* (19) ſtehen und alle übrigen wären zu ihm Auszweigungen höherer Ordnung. In Wirklichkeit aber iſt der Schaft nach mehr wie zwei Richtungen von dominirenden Aeſten beſetzt. Dieß wird nur verſtändlich dadurch, daß der ſpäter dominirende Aſt aus mehreren Zweigordnungen der Richtung *A P* (19) ſich zuſammenſetzt. Denken wir uns die Figur ſenkrecht zur Ebene der Zeichnung fortgeſchoben, ſo paſſirt ſie die nach ½ an der Axe *A* geordneten Zweige erſter Ordnung *1, 3, 5, 7* . . . und es entſteht hierbei der Aſt *A V W*, zuſammengeſetzt aus den Ordnungen *1, 2, 3* bezogen auf *A*. Rückt die Figur parallel der Axe *A* höher, ſo ſteht der Aſt der erſten Ordnung *3*, aus ihm geht der dominirende Aſt *U* hervor, zuſammengeſetzt aus den Ordnungen *1, 2, 3* bezogen auf *A*. Laſſen wir die Zeichnung ſenkrecht zur Axe weiter wandern, ſo berührt ſie nach und nach die Aeſte der erſten Ordnung *5, 7, 9, 11* u. ſ. f., jeder dieſer bildet durch Abſtoßen eines Theiles der Zweige höherer Ordnung und Verſchmelzung einen dominirenden Aſt. *5* z. B. bildet *C* und iſt aus *3*, *7* bildet *P* und dieſer iſt aus *4* Ordnungen zuſammengeſetzt, *9* bildet *G* u. ſ. f. In unſerer Figur müſſen ſelbſtredend in den höher ſtehenden Aeſten *J* z. B. Deckungen vorkommen, ſo bedeutet *A D H G* die Projection des *9*., *A D H J* aber die Projection des *15*. Aſtes.

drängt worden. Dieß hat ſich bei *III* (incluſive) zweimal nach der gleichen Richtung wiederholt, *IV* aber iſt durch einen nach oben abgehenden Zweig *V*, *V* wieder durch einen nach unten abgehenden Zweig *VI* verdrängt. So ſetzt ſich hier endlich der dominirende Aſt aus 6 Zweigklaſſen zuſammen.

Bis zur dauernden Herrſchaft wiederholen ſich dieſe Vorgänge, ſo daß der urſprüngliche Haupttrieb bald erhalten bleibt, bald eingeht. In der Fig. 385 *A* iſt dargeſtellt, wie bei der Eſche ein Seitenzweig die Rolle des Haupttriebes gelegentlich übernimmt.

Haben wir in dem Vorſtehenden einen Ueberblick über die Zahlenverhältniſſe in der Gliederung der Baumkrone erhalten, ſo können wir nun noch die wichtigeren räumlichen Verhältniſſe in's Auge faſſen, welche aus den früher geſchilderten Momenten der Reinigung reſultiren.

Da der endlich dominirende Aſt aus Stücken mehrerer Zweigrangklaſſen ſich zuſammenſetzen kann, ſo kommt es, daß die Krone ſich auch dann nach mehr wie zwei Richtungen mit Aeſten ausfüllt, wenn die Blatt-, beziehentlich die Zweigſtellung urſprünglich nach dem Divergenzwinkel $^1/_2$ ſtattgefunden hat. Als Beiſpiel kann die Buche oder Linde, Fig. 386, gewählt werden (ſ. Figurenerklärung). Die dominirenden Aeſte ſtunden hier urſprünglich alle nur in zwei Längszeilen am Stamme. Später divergiren ſie nach allen möglichen Richtungen. Dieß wird nur möglich, wenn in dem rechts, Fig. 386, verzeichneten Zweigſyſtem, deſſen Hauptaxe *a a'* ein nach $^1/_2$ geſtellter Aſt der erſten Ordnung iſt, jeweilig die größte Anzahl der Zweiglein eingeht und wenn ſich der nach Jahren oder Jahrzehnten endlich dominirende Aſt aus Zweigen mehrerer Ordnungen zuſammenſetzt nach den früher geſchilderten Entwicklungsgeſchichten. So kann es kommen, daß ſich die Krone bei der Ulme, Linde, Buche, Hainbuche u. ſ. f. nach mehr wie zwei Richtungen mit Aeſten ausfüllt. Hiebei wird jedenfalls im Großen und Ganzen dem Lichtbedürfniß in dem Sinne Rechnung getragen, daß die Lücken möglichſt gleichmäßig beſetzt werden.



Achte Abtheilung: Theorie der Ernährung der Pflanzen.

§ 35. Allgemeine Orientirung.

A. Die Medien.

Als allgemeinen Geſichtspunkt der hiereinſchlägigen Phänomene beachten wir, daß alles Leben der höheren Organismen von der Pflanze ausfließt, inſofern die Elemente, welche die Organismen zuſammenſetzen,

aus den Medien Erde, Waſſer, Luft in das Reich des Lebens durch die Pflanze nach dem Thiere gelangen. Beachten wir die Continuität der Raçen[1]), ſo ſpielen dieſe Proceſſe eine Hauptrolle:

1⁰ vorhandenes Bildungsmaterial wird an den Ort der Neubildung geleitet, eventuell im chemiſchen Sinne dabei verändert (Osmoſe und Filtration ſpielen hier eine Rolle);

2⁰ aus den Elementen oder Verbindungen der umgebenden Medien wird das plaſtiſche Material gebildet (Aſſimilation);

3⁰ bei dieſem Umſatz ernährt ſich eine Generation zum kleineren Theil der Zeit in der vorhergehenden, z. B. alle höheren Pflanzen;

4⁰ viele Gewächſe ſind auf ſelbſtändig wachſende Nährpflanzen angewieſen, welche ſie beſiedeln und durch welche die aſſimilirten Körper für den Paraſiten geliefert werden (ächte Paraſiten, Pilze, wenige Algen, Flechten und einige Familien der Phanerogamen).

Andere ſind mindeſtens angepaßt an eine Unterlage, welche reich iſt an organiſchen Beſtandtheilen, wie ſie Thier- und Pflanzenleichen entſtammen, Saprophytae. Dahin gehören die Mycelien vieler Erde bewohnenden Pilze, z. B. die Agaricineen und zahlreiche Sphæriaceen, welche abgeſtorbene Pflanzen-(Baum-)Theile bewohnen.

a) Ernährung der Amöben.

Bei faſt allen Waſſer bewohnenden Amöben beobachtet man, daß ſie feſte Körperchen, welche in dem Waſſer vertheilt ſind, aufnehmen, während der ſtrömenden oder gleitenden Bewegung ihres Plasmakörpers. Auch lebende, bezogen auf die Amöbe hochentwickelte Thiere und Pflanzen werden gelegentlich von der Plasmamaſſe geradezu verſchluckt, wenn ihre Maſſe überwiegt, oder überzogen, wenn der befallene Organismus ſeinerſeits ein größeres Volum beſitzt (ſ. die Vampyrella vorax, Fig. 16, S. 16).

In den Plasmodien des Aethalium kommt ein peptiſches Enzym vor[2]), auf deſſen Gegenwart es beruht, daß die Plasmodien, Amöben und die Protoplasmamaſſen der vegetativen Zellen überhaupt verdauen, feſte Niederſchlagskörper und ſonſt in Waſſer, Säuren, Alcalien u. ſ. f. ſchwer lösliche Körper verhältnißmäßig raſch verflüſſigen und in ihrem flüſſigen Leibe reſorbiren, vertheilen oder aſſimiliren.

Peptiſche, ſaure Secrete werden auch von den höheren Pflanzen ausgeſchieden. Dieſe beſitzen die Eigenſchaft, thieriſches Eiweiß, Fibrin der Muskelfaſer u. ſ. f. zu löſen.

---

[1]) Die Thatſache, daß alle Generationen unter ſich eine unendlich lange Kette in die Vergangenheit bilden.

[2]) Ueber das Vorkommen eines peptiſchen Enzyms im Plasmodium von Aethalium ſepticum. Unterſ. aus dem phyſiolog. Inſtitut in Heidelberg. 1878.

Die Aufnahme von Diatomeen und anderen niederen Algen, Palmellaceen, Volvocineen durch nackte Protoplasmamaffen gefchieht auch fo, daß letztere über den Körper der erfteren hinüberfließen, bis die aufzunehmende Maffe allfeitig eingefchloffen ift.

Die Figur 16 demonftrirt diefen Vorgang, die Diatomee *d* dringt durch die hyaline Randfchicht und nimmt einen Theil diefer mit in die von körnigem Plasma erfüllte Kugel, wo fie einige Zeit eingefchloffen bleibt. Sie wird während ihres Aufenthaltes in der hyalinen Plasmamaffe getödtet.

Die nach der Verdauung übrigbleibenden Refte werden ausgeftoßen. Bei den rafcher fließend-kriechenden Amöben (Fig. 9 bis 15, oben S. 12 ff.) treten diefe Refte an dem hinteren Ende aus. Sie bleiben an einem gegebenen Punkte der Bahn liegen, während die Amöbe in Bewegung ift.

Analog diefen Vorgängen finden fich in der Zelle der höheren Pflanze Vorgänge der vorübergehenden Umfchließung von feften oder geformten zähflüffigen Körperchen, z. B. Stärke, Cryftalle, Chlorophyllkörper, welche gelegentlich im Plasma reforbirt und an anderem Orte wieder feft geformt niedergefchlagen werden.

Verdauung eigener und fremdartiger fefter Körper.

Bei der Dionæa muscipula werden die Leichen der gefangenen Fliegen zum Theil durch ein Secret, welches dem Blatte entftammt, verdaut und von der Pflanze reforbirt. Experimentell hat man gefunden, daß auch Fleifchfafern von demfelben Secret gelöft und aufgenommen werden können.

Diefe Erfcheinung, in der neueren Zeit mehrfach befprochen, hat, da man den Ausdruck «fleifchfreffende Pflanzen»[1]) unpaffenderweife anwandte, einerfeits die voreilige Vorftellung wachgerufen, fo hoch gegliederte Pflanzen, wie diefe Droferaceen fie darftellen, feien mit jenem Klappenapparat der Blätter an die Fleifch- oder Infectennahrung adaptirt, andererfeits follte die Reforption thierifcher Maffe durch Pflanzenblätter eine auffällige und neue Erfcheinung fein. Weder in dem einen noch in dem andern Sinne bietet diefer Vorgang ein wefentlich neues Intereffe außer dem der Curiofität.

Der Ernährungsvorgang kann an fo hoch organifirten Pflanzen nicht als eine Anpaffung angefehen werden, da die Pflanze felbft an die Boden-, Luft- und Lichternährung in complicirterer und vollkommener Weife angepaßt ift.

---

[1]) Pfeffer, Ueber fleifchfreffende Pflanzen u. f. f. Sep.-Abdr. der Landwirthfch. Jahrbücher. 1877. — M. Reess u. H. Will, Einige Bemerkungen über fleifchfreffende Pflanzen. 713. Bot. Ztg. 75. — Dr. Drude, Die infectenfreffenden Pflanzen. Sep.-Abdr. aus: Schenk, Handbuch der Botanik.

Die Reſorption iſt in mechaniſchem (chemiſchem) Sinne nicht neu, da eine große Anzahl ſolcher Reſorptionsvorgänge in der Pflanze ſelbſt herrſchen muß, um ihre eigene nicht paraſitäre Ernährung möglich zu machen. Die eigenen Zellhäute und alle geformten organiſchen Niederſchläge werden im Innern der Pflanze hie und da aufgelöſt und an andern Orten reſorbirt oder wieder zum Aufbau ausgeſchieden. Es ſind dieß Vorgänge, über welche in dem weiteren Verlaufe dieſer Abhandlung zu berichten iſt.

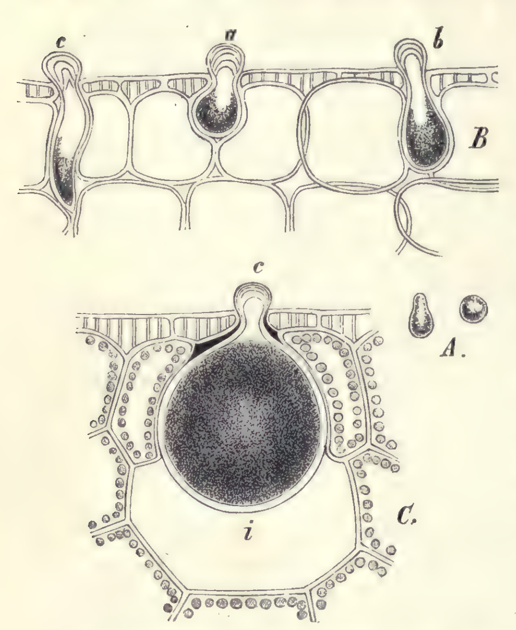


Fig. 387. Chlorochytrium Lemnae. *A* Zooſpore von zwei Seiten geſehen. *B* keimende Zooſporen, welche zwiſchen zwei Membranlamellen der Epidermis eindringen *a*, die Keimſchläuche von *b* und *c* tiefer bis zu dem Intercellularraum eingedrungen. *C* ein ausgewachſenes Chlorochytrium im Intercellularraum *i*, der Sporenknopf ragt in *c* über das Niveau der Epidermis. (F. Cohn, Biologie, Beiträge II. Heft, Ueber paraſitiſche Algen.)

Bei den höheren «fleiſchfreſſenden Pflanzen» wirkt das Secret ähnlich wie ſaure Pepſinlöſung. Es wandelt die unlöslichen Eiweißkörper in lösliche um. Dieſe Reſorption vollzieht ſich an Thier-, namentlich Inſectenleichen, in beſonderen Apparaten, welche zum Fange der Inſecten geeignet (nicht angepaßt) ſind, dahin gehören: Nepenthes, Droſera, Dionæa, Droſophyllum.

b) Algen des Süßwaſſers. Meeresalgen[1]).

Die große Mehrzahl dieſer Pflanzen ernährt ſich ſelbſtändig, d. h. ſie vermögen die Elemente und die binären und ternären Verbindungen der Medien Waſſer, Salze (Kohlenſäure), Sauerſtoff ſo umzuſetzen, wie es die Landpflanze thut. Der Algenſtamm mit allen ſeinen Deſcendenten iſt daher phyſiologiſch wohl charakteriſirt von dem Pilzſtamm, welcher nach der heutigen Naturanſchauung ein ſpäterer Zweig des Algenſtammes iſt (ſ. allgem. Morphologie).

Nach den neueren Unterſuchungen Cohn's giebt es indeß eine Alge, welche paraſitirt. Das Chlorochytrium Lemnae befällt mit ſeinen Zooſporen, Fig. 387 *A*, die Epidermis der Lemna, Fig. 387 *B*.

---

[1]) Cohn, Beiträge. Heft 2. S. 87. Ueber paraſit. Algen. — A. Famintzin, Die Wirkung des Lichtes auf Algen und einige andere ihnen nahe verwandte Organismen. S. 1. Pringsh. Jahrbuch. Bd. VI.

c) Pilze. Flechten.

Die Pilze bewohnen entweder Pflanzen- und Thierleichen oder die lebenden Körper dieſer oder ſie vegetiren in und auf einer Unterlage, welche reich iſt an den nächſten Zerſetzungsproducten todter Organismen. Sie führen ſomit dieſe noch einmal in das Reich der Lebeweſen zurück, ehe ſie dem Zerfall in Aſchenbeſtandtheile, Kohlenſäure und Ammonſalzen vollſtändig erliegen.

Die genetiſch nahe ſtehenden Flechten bewohnen nicht allein die abgeſtorbene Rinde der Bäume, ſie vermögen die nackten Urgeſteine, ſelbſt Metallflächen zu beſiedeln.

Die Uredineen, Chytridiaceen, Uſtilagineen, Pyrenomyceten, Fig. 388, 389, und viele andere tödten oder führen die befallenen Pflanzen mehr oder weniger verderblichen Krankheiten entgegen. Die Ernährung der Paraſiten iſt der Tod der Nährpflanze oder des befallenen Organes dieſer.

Die Keimſchläuche des Paraſiten dringen durch die Membranen der Nährpflanze oder durch die Spaltöffnung, Fig. 390 *b*. Sie wachſen in den Intercellularräumen, Fig. 391, und ſenden gelegentlich die Myceliumfäden durch die Membran, indem ſie dieſe durchbohren.

Beſondere Deformirung der befallenen Pflanzentheile tritt ein an den Nährpflanzen der Uſtilagineen, Uredineen, Chytridiaceen.

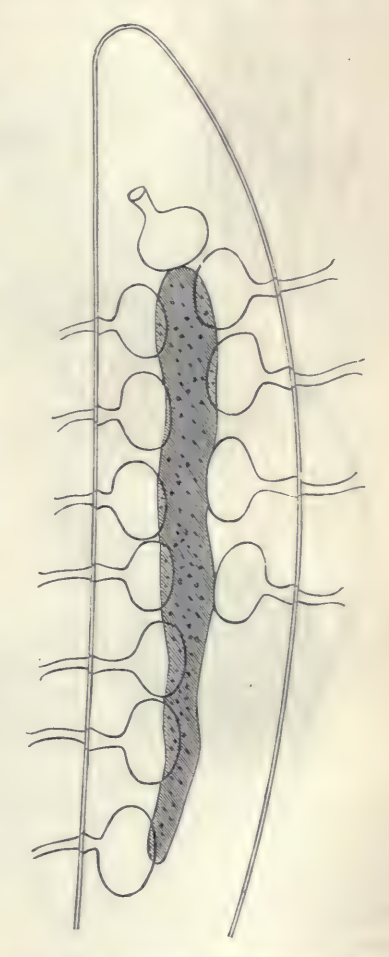


Fig. 388. Abſterbendes Exemplar von Cloſterium Lunula, auf deſſen zu einem braunen Strang contrahirtem Inhalte 12 Exemplare von Chytridium endogenum ſitzen, welche die Zellhaut durchbohren und als Röhrchen über dieſelbe hervorragen; ſie ſind ſämmtlich entleert.

Bei allen dieſen paraſitären Ernährungsvorgängen iſt die Maſſe des Paraſiten im Zeitpunkt ſeines Eindringens verſchwindend klein. Der Ort des erſten Angriffes iſt mikroſkopiſch klein, die Verbreitung der vegetativen Theile in dem befallenen Organ aber meiſt ſehr raſch und erſtreckt ſich über weite Räume des befallenen Pflanzenkörpers.

B. Abriss der Entwickelungs- und Ernährungserscheinungen.

Sucht man zunächſt in den aufeinanderfolgenden Pflanzenfamilien die Verbindungspunkte einer Generation mit der andern und die durch die Propagation von der erſten nach der zweiten abgeſtoßenen Maſſen, ſo erhält man:

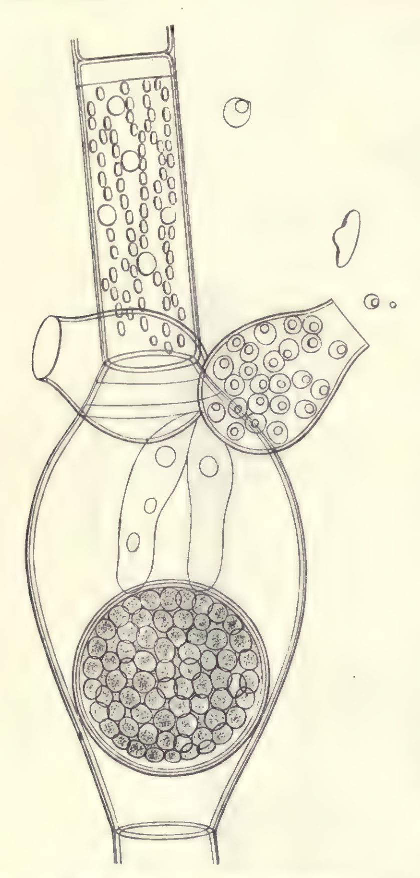


Fig. 389. Ein Faden von Conferva bombycina, welcher 2 Exemplare des Chytridium lagenula trägt. (M. Braun 1856, Ueber Chytridium etc. Aus den Abh. der königl. Acad. zu Berlin 1855.)

1° die Vermehrungszellen ſind unbewegliche oder bewegliche Sporen von minimaler Maſſe, ſie werden in ungeheuerer Anzahl gebildet. Die Ernährung derſelben iſt bezogen auf den Aſcendenten ſelbſtändig: Algen oder paraſitäre Pilze;

2° die Spore iſt größer, bis zu Hirſenkorngröße, ihre Keimung nach der Ausſaat erfolgt zunächſt durch Conſum eines in ihr von der erſten Generation mitgegebenen Reſervoirs aſſimilirter Körper, Oel, Amylum, Protoplasma. Im weiteren Verlauf wird die Sporengeneration ſelbſtändig aus dem Waſſer, dem Boden und der Atmoſphäre ernährt.

a) Ernährung der Moosſeta und Frucht.

Die nächſte Generation in dem ganzen Verwandtſchaftskreiſe der Mooſe ſteht mit der vorhergehenden in organiſchem Verbande, häufig aber ohne directe Verwachſung. Die Moosſeta und Kapſel werden aus der beblätterten Pflanze ernährt. Sie paraſitiren in dieſer, oder beſſer geſagt, ſie leben mit dieſer zuſammen, nicht ohne daß die geſtaltliche Entwickelung des ernährten Theiles auf die Form der Nährpflanzen ändernd zurückwirkt. Das Heranwachſen der Moosfrucht und der embryonalen Pflanze der höheren Cryptogamen übt einen Reiz auf die tragende Generation aus, welcher ſich in einem geſteigerten Wachsthum an der beſtimmten Stelle äußert.

Bei den Mooſen verwächſt der Kapſelfuß von Anthoceros mit der Axe der tragenden Generation.

b) Ernährung der beblätterten Pflanze der Gefäßcryptogamen.

Auch in dieſem nächſt höheren Kreiſe wird die beblätterte Pflanze von derjenigen Generation eine Zeit lang ernährt, welche direct aus der Spore entſpringt.

Die primäre Axe wächſt zu beſchränktem Volum und ſteht in Verband ohne Verwachſung mit dem Prothallium oder dem Endoſperm der Spore. Ihre Ernährung iſt im Beginne der Entwickelung als eine paraſitäre aufzufaſſen. Das Prothallium aber zeigt ſich nicht im Wachsthum weſentlich dadurch beeinträchtigt, auch nicht dadurch zu weſentlich ſtärkerem Wachsthum gereizt.



Fig. 390. Keimende Zooſporen von Ciſtopus, welche in die Spaltöffnungen der Nährpflanze ihre Keimſchläuche treiben.

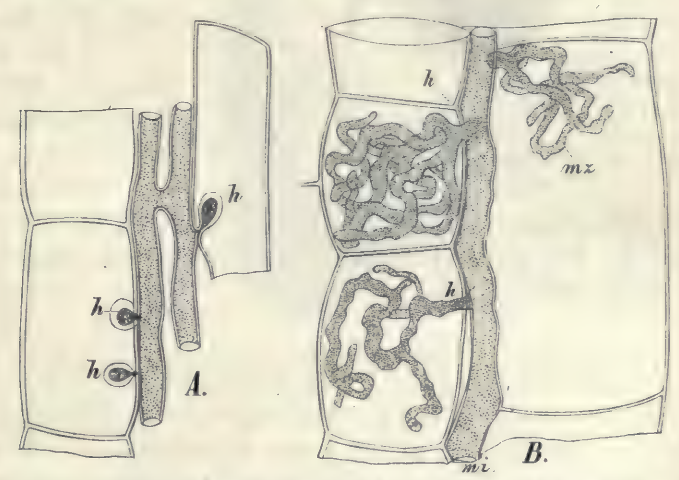


Fig. 391. Peronoſpora calotheca (auf Aſperula odorata). *m i* Intercellulares, *m z* Mycelium in der Zelle, von den die Wand durchbohrenden Hauſtorien *h* entſproſſend.

c) Ernährung der entſtehenden Keimpflanze im Embryoſack.

Bei allen höheren Pflanzen wird die Keimpflanze mit ſeltenen Ausnahmen (Orchideen, Orobancheen) in der gegebenen Generation ſoweit ernährt, daß ſie nach der Ausſaat die an ihr angelegten Organe Stamm,

Wurzel, Keimblätter, nur zu ſtrecken braucht, um ſelbſtändig in dem ihr zugewieſenen Medium, Waſſer oder Erde, zu leben. Die Ernährung des Keimlings in dem Eiſproß der Mutterpflanze geſchieht durch Reſorption dort angehäufter Nährkörper, Zucker, Amylum, Oel, ſowie ganzer Gewebe des Endoſperms, Periſperms, eines Theiles der Integumente ſelbſt, Fig. 392 (ſiehe allgem. Morphologie d. Blüthenpflanzen).



Fig. 392. Schematiſcher Längsdurchſchnitt durch den Fruchtknoten von Dipſacus. Der innere ſphæroidale Körper iſt das ovulum, welches zum großen Theil durch den Embryoſack nach der Befruchtung reſorbirt wird. Der zweitheilige Körper iſt die Keimanlage, dieſe füllt als reifer Keimling, nachdem ſie die Nährkörper des Embryoſackes reſorbirt hat, den größten Theil des Hohlraumes aus.

Schon während der geſchlechtlichen Vorgänge aber kommt die Reſorption der angehäuften Nährkörper, ſowie die Verdrängung und Auflöſung ganzer Gewebeparthieen zur Geltung, ſo z. B.:

1⁰ bei dem Empfang des Pollens und deſſen Wanderung durch den Griffel;

2⁰ bei dem Wachsthum des Embryoſackes, welcher einen großen Theil des Eikerns reſorbirt;

3⁰ bei der Bildung des Endoſperms während der Anlegung des Keimlings und der Reſorption desſelben.

d) Ernährung der Phanerogamenparaſiten[1]).

Der Paraſit verwächſt bei der Keimung mit der Nährpflanze durch eine Saugwurzel, Hauſtorium, welche in den Rindenkörper des Wirthes eindringt, Fig. 393. Von nun ab entwickelt ſich der Paraſit wie ein organiſch mit der Nährpflanze verwachſener Theil. Die Laubblätter ergrünen und übernehmen die Function der Aſſimilation der atmoſphäriſchen Gaſe bei den Loranthaceen und einigen Santalaceen, oder ſie ſinken zu unbedeutenden

---

[1]) Hermann, Graf zu Solms-Laubach, Ueber den Bau und die Entwickelung der Ernährungsorgane paraſitiſcher Phanerogamen. Pringsh. Jahrb.

Rudimenten von bleicher Farbe herab, bei den Orobancheen, einigen Orchideen, Monotropeen u. f. f.

Die Corallorhiza affimilirt felbftändig ohne Chlorophyllapparat. Auch zeigten die Unterfuchungen von Reinke, daß die Corallorhiza ohne Chlorophyll führende Zellen die in dem Waldboden vorkommenden Nährkörper affimilirt.

---

§ 36. Ernährung der grünen Landpflanze.

Eine jede Pflanze, welche Wurzel und Stämme deutlich differenzirt, mit den erfteren den Boden und die Gefteinstrümmer desfelben befiedelt und durchwächft, mit dem beblätterten Stamme von den atmofphärifchen Gafen umfluthet wird, erfährt fortwährende Störungen in ihrem molecularen Gleichgewicht:

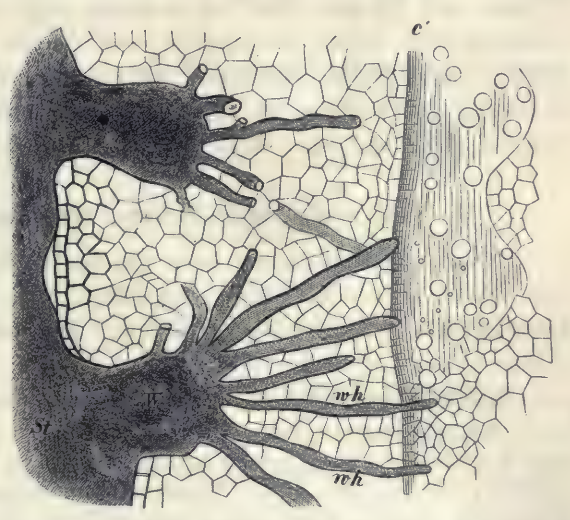


Fig. 393. Schematifcher Querfchnitt durch eine Parthie des Stammes der Balfamine, welche von einer Cuscuta umfchlungen ift. *St W* Stamm und Wurzel der letzteren. *wh* die Wurzelhaare der Saugwurzel (Hauftorium), welche weit in das Gewebe der Rinde bis zur cambialen Zone *c'* des Balfaminenftammes vorgedrungen find.

1⁰ fie athmet, d. h. fie nimmt Säuerftoff auf und fcheidet Kohlenfäure ab;

2⁰ fie verdunftet an den der Atmofphäre ausgefetzten Theilen ftärker wie an den Wurzeln, welche in dem mehr oder weniger waffergefättigten Boden wachfen;

3⁰ fie wächft und bringt dabei vorher gelöfte oder allgemein flüffige Körper in eine ftabile fefte Lage und Form.

Durch alle diefe Vorgänge wird an der Grenzfchicht in der Atmofphäre, fowie an dem Boden der foeben herrfchende Gleichgewichtszuftand der Löfung von außen eingedrungener Theile geftört in der Weife, daß zwei Ströme in die Pflanze gerichtet find: ein Gasftrom in die Blatttheile, ein Wafferftrom in die Wurzeltheile.

A. Die verbrennlichen Kohlenstoffverbindungen beschreiben einen Kreisprocess.

Da an dem Erdball die organifchen Bewegungen in einer äußeren außerordentlich dünnen peripheren Schale fich abfpielen, da hiebei eine Capitalifation verbrennlicher Kohlenftoffverbindungen durch abgeftorbene Pflanzenleiber feit unendlich großen Zeiträumen (bezogen auf die hiftorifchen) ftattgefunden haben muß, fo ift zunächft von Intereffe zu fragen, wo kommen diefe Kohlenftoffcapitalien in heutiger Zeit hin? Abgefehen von jenen Kohleablagerungen in Stein- und Braunkohleflözen, in den Torfmooren, wo größere Mengen verbrennlicher Pflanzenfubftanz fich erhalten haben, weil der Luftzutritt auf ein Minimum befchränkt war, vollzieht fich in unferer Epoche neben dem Proceß der Desoxydation der atmofphärifchen Kohlenfäure ftetig der umgekehrte Vorgang der Verbrennung. Die Leichen von Thieren und Pflanzen zerfallen in letzter Linie fo, daß Ammon, Schwefel, phosphorfaure Salze, Kohlenfäure und Waffer entftehen. Die endliche Maffe verbrennlicher Subftanz, insbefondere des Kohlenftoffes, fchwankt fomit aus dem Zuftand der Kohlenfäure nach dem Zuftand der chemifchen Spannung hin und her. Die Pflanze unterhält diefen Proceß.

B. Zwei eintretende Ströme: Gas- und Wasserstrom[1]).

Von außen betrachtet liegt die Sache fo: die Landpflanze ift ftetig zwei Strömen von Moleculen ausgefetzt. Aus der Atmofphäre treten die Gastheilchen, Kohlenfäure, Sauerftoff, Stickftoff, kleine Mengen gafiger

[1]) **Physikalische Einleitung in die Lehre von der Aufnahme der Nährkörper.**

Die Aufnahme der Körper, welche die Pflanze zu ihrem Aufbau nöthig hat, ift eine Molecularerfcheinung, d. h. es werden nur kleinfte Theilchen, die der directen Beobachtung fich entziehen, an der Oberfläche der Nährorgane aufgenommen. Die Pflanze nimmt fefte, gelöfte, flüffige und gasförmige Körper in fich auf. Wird diefe Aufnahme als eine Bewegungserfcheinung betrachtet, fo ift klar, daß man erft die Gefetze der Bewegung der drei Aggregate kennen lernen muß, ehe man die Gefetze der Stoffaufnahme am Pflanzenkörper überfchauen kann.

Bis jetzt ftehen der Forfchung in diefem Gebiete noch fehr große Schwierigkeiten entgegen, die, abgefehen von dem Mangel experimenteller Daten, hauptfächlich darin beftehen, daß die Theorie der Molecularbewegung flüffiger und fefter Körper bis jetzt noch zu wenig gefördert ift.

Nach dem Princip von der Erhaltung der Kraft ftellen wir uns die kleinften Theilchen der Materie, fo lange fie überhaupt noch Temperatur befitzen, in fteter Bewegung vor.

Es mögen dieß geradlinig fortfchreitende, um eine Gleichgewichtslage oscillirende oder auch rotirende fein, die Form diefer Bewegung ift, dafern fie nicht durch die Erklärung eines Phänomens direct gefordert wird, hier gleichgiltig; die Bewegungsgröße

Ammoniakverbindungen ein, und die im Regen und Thau gelösten Gase. Aus dem Boden tritt ein Wasserstrom mit allen gelösten festen Körpern und Gasen ein. Beide Ströme gelangen zu dem Heerd der Neubildung, dem Protoplasma, nur in Folge eines osmotischen, beziehungsweise eines Absorptionsprocesses.

Nun ist selbstredend, daß für den großen und ganzen Umsatz die sämmtlichen Elemente und Verbindungen, welche in dem Luftocean vorkommen, auch in den Meteorwässern des Bodens in concentrirterem Zustande durch die Wurzel der Pflanze zugeführt werden.

Die Gase haben somit zwei Wege von mechanisch verschiedener Bedeutung: einen Gasstrom und einen Wasserstrom. Anders liegt dieß für feste Körper des Bodens. Nur die Meersalzverbindungen werden allenfalls in dem zerstäubten Meerwasser über so weite Strecken weggeführt, daß ihre Zufuhr durch die Atmosphäre für die Landpflanze irgend in Betracht kommen kann.

C. Allgemeine Theorie der Gas- und Wasserströme in der Pflanze.

(Theorie der Gasbewegung siehe oben § 25, S. 205 ff.).

Was zunächst die Gase angeht, so wird sich ein Gleichgewichtszustand der Lösung herstellen, welcher stetig gestört wird:

1⁰ durch den Temperaturwechsel und die Druck-, resp. Barometerschwankung der Atmosphäre;

2⁰ dadurch, daß die Gase zersetzt werden.

Dieß gilt für die Kohlensäure, welche in der Pflanze reducirt wird, und den Sauerstoff, welcher, mit den verbrennlichen Verbindungen zusammentretend, wieder Kohlensäure bildet.

Der Wasserstrom erleidet in der Pflanze stetig eine Concentration; da die festen Aschenbestandtheile in der Pflanze zurückbleiben, das Wasser aber stetig verdunstet, so findet in der Pflanze eine Anhäufung der unverbrennlichen Substanzen statt, welche zunächst ganz unabhängig von einem Bedarf derselben für die Ernährung gedacht werden muß.

Bei der Aufnahme von festen Körpern gilt als ganz allgemeines Ge-

---

aber, dieß wird beachtet werden müssen, hängt von der Temperatur ab. Je höher diese, desto größer ist die Amplitüde der Bewegung der Molecule.

Fest nennen wir nun den Körper, wenn die Anziehung der benachbarten Molecule die lebendige Kraft der gegebenen überwindet. (Dosios, Theorie der Lösungen.)

Tropfbar flüssig ist ein Aggregat von Moleculen, deren lebendige Kraft die Anziehung der zunächst benachbarten zu überwinden vermag, jedoch kleiner ist als die Anziehung der Gesammtheit aller andern in Bezug auf dasselbe.

Gasförmig ist ein Aggregat von Moleculen, von welchen die lebendige Kraft jedes einzelnen größer ist als die Anziehung der Gesammtheit auf dasselbe.

ſetz, daß ſie nur in Form einer Löſung vor ſich gehen kann. Eine ſolche Löſung wird ein directer Niederſchlag der Atmoſphäre oder des Bodenwaſſers ſein, oder es iſt das Fluß- und Meerwaſſer für Algen und ſonſtige Waſſerbewohner.

Die Aufnahme der feſten Körper iſt wie diejenige der Gaſe im Allgemeinen eine Diffuſionserſcheinung[1]). Sie iſt abhängig ſomit:

1° von dem Moleculargewicht und der Molecularbewegung des feſten Körpers;

---

[1]) **Verhalten von Flüssigkeiten zu Flüssigkeit.**

Löſt ſich eine Flüſſigkeit vollſtändig in der andern, ſo nennen wir die Löſung eine Miſchung, gegenüber der Löſung von Gaſen, welche eine Abſorption genannt wird.

Schichten wir eine Flüſſigkeit *A* über eine zweite *B*. Dieſelben ſind vollkommen miſchbar, wenn die Anziehung der Theilchen *A A* zu einander kleiner iſt, als die von *B* zu *A*. Es nähern ſich dann die ungleichartigen Molecule, d. h. die Miſchung tritt bis in die kleinſten Theile, alſo vollſtändig ein.

Iſt dagegen die Anziehung von *B* nicht im Stand, die Anziehung zwiſchen *A* und dem nächſten Theilchen *A'* zu überwinden, ſo wäre eine Miſchung der beiden nicht denkbar, wenn nicht noch die ſteten Bewegungen der Molecule *A* und *B* mit in Betracht kämen. Durch dieſe kann es offenbar kommen, daß ein Molecul *A* bei der Entfernung von einem gleichartigen ſich nach *B* bewegt. *A* bewegt ſich allerdings mit abnehmender Geſchwindigkeit nach einem Ort zwiſchen *B B'* in der Grenzſchichte und würde, wenn es ſich nicht einem der Molecule *B' B''* näherte, ſicher wieder von einem der *A⁰ A'* ... angezogen; die lebendige Kraft + der Anziehung von *B* zu *A* kann nun hinreichen, *A* jenſeits der Grenzſchichte, alſo in die Orte der *B⁰ B'* ..., zu bringen. Die ſo unter den *B' B''* ... befindlichen Molecule von *A* werden ſich gleichmäßig vertheilen, es werden alſo auch wieder welche an die Grenze kommen und zurück nach dem Ort der *A* gehen.

Geſättigt iſt die Löſung von *B* mit *A*, wenn in gleicher Zeit gleichviel Molecule von *A* in beiden Richtungen durch die Grenzſchicht gehen.

Die Löslichkeit muß mit der lebendigen Kraft der Molecularbewegung zunehmen, alſo mit der Temperatur. Denn da in dem vorausgeſetzten Falle, daß die Anziehung der ungleichartigen Molecule für ſich kleiner iſt, als die Summe der Anziehungen der gleichartigen, die Bewegung der Molecule die gegenſeitige Löslichkeit der Flüſſigkeiten bedingt, ſo muß mit der Urſache der lebendigen Kraft auch die Folge, die Löslichkeit, zunehmen. Bei der Löſung feſter Körper in Flüſſigkeiten iſt leicht einzuſehen, daß eine Vertheilung der ungleichartigen Molecule nicht möglich iſt. Da die Anziehung der feſten Molecule A zu $A = aa$ größer als die lebendige Kraft der Bewegung eines Moleculs iſt, da ferner die Anziehung bb zweier der Molecule der Flüſſigkeit bb kleiner als aa, ſo folgt, daß die Bedingung für die Löſung nach allen Verhältniſſen nicht möglich iſt, denn wenn auch $ab > aa$ und $ab > bb$, ſo iſt doch die lebendige Kraft von *A* kleiner, als die Anziehung zweier *A* zu *A*. Die lebendige Kraft der *A* wird daher nicht die Anziehung von *ab* überwinden, da ſie nicht einmal die Anziehung *aa* überwindet.

Die Löſung hat einen Sättigungspunkt, d. h. es tritt ein Zeitpunkt ein, wo gerade ſo viele *A* von andern *A* zu *B* übertreten, als umgekehrt ſolche von *B* ſich trennen, um zu *A* zu gehen. Im Allgemeinen wird der Sättigungspunkt um ſo ſpäter eintreten, je höher die Temperatur, alſo die lebendige Kraft der Molecularbewegung iſt.

2⁰ von der fpezififchen Natur der Membran und deren Anziehungskräften zu der Flüffigkeit;

3⁰ vor allen Dingen in der lebenden Pflanze von dem Verhalten des durch die Membran diffundirten feften Körpers in der Pflanze.

Verfchwindet derfelbe aus der Löfung in der Pflanze in der Weife, daß er zu einem feften unlöslichen Niederfchlage wird, fo wird im Allgemeinen eine größere Menge unter fonft gleichen Umftänden diffundiren, wie wenn er in der Löfung längere Zeit verbleibt.

D. Was ist ein absolutes Nährmittel[1])?

Ein jedes Element, welches zunächft in dem verbrennlichen Theil des Pflanzenkörpers ein conftituirender Beftandtheil ift, muß als ein abfolutes Nährmittel angefehen werden. Solche find: Kohlenftoff, Sauerftoff, Wafferftoff, Stickftoff, Schwefel und Phosphor als conftituirende Beftandtheile des Eiweißes, ohne welche das Protoplasma nicht entftehen kann.

Die Alkalimetalle Kalium, Natrium, Lithium find abfolut wefentlich für die Stärkebildung und für die Bildung der Holzfubftanz.

Von den fchweren Metallen ift das Eifen, in feltenen Fällen find Mangan und Zink abfolute Nährmittel.

Die Kiefelfäure ift ein fteter Beftandtheil aller Epidermen und peripheren Gewebe.

---

1) Sachs in Hofmeister's Handbuch der phyfiolog. Bot. IV. S. 141 ff. — Prof. Wilh. Wicke, Ueber das Vorkommen und die phyfiolog. Verwendung der Kiefelerde im Pflanzenreiche. 76. Bot. Ztg. 62.

Bei Löfungen nach allen Verhältniffen wird

$$ab > aa > bb,$$

wird Wärme frei, z. B.

Waffer mit Alkohol,
« « SO_4H,
« « Effigfäure,
« « Glycerin,

weil die Anziehung vergrößert wird.

Bei der Löfung von Salzen und im Allgemeinen feften Körpern, dafern nicht eine chemifche Verbindung mit parallel läuft, wird

$$aa > ab$$
$$bb > ab,$$

es wird Wärme gebunden (verbraucht, weil die Anziehungen *aa bb* zum Theil überwunden, verkleinert werden).

Allgemein: Wärmebildung tritt ein, wenn Moleculverbindungen durch überwiegende oder bei überwiegender Anziehung der vorher getrennten Molecule zu Stande kommen.

Wärme wird confumirt, wenn die Bewegungszuftände der Molecule eine unumgängliche Bedingung für deren Vermifchung find.

Die Jod-, Brom-, Chlor-, Fluorverbindungen finden ſich in den Meeres- und Salinenpflanzen. Fluor, ein Beſtandtheil der thieriſchen Knochen, muß ebenſo den Weg durch die Pflanze nehmen, wie alle übrigen Nährkörper des Thieres.



Fig. 394. Apparat für Waſſerculturen. *A* der Behälter, in welchem die Pflanze wächſt, *c* eine durchlöcherte Korkplatte, *b* das Zuleitungs-, *d* das Ableitungsrohr für die Nährſtofflöſung aus dem Reſervoir *B*, a eine undurchſichtige Hülle von Pappe.

Als Criterium für die abſolute Nothwendigkeit eines gegebenen Aſchenbeſtandtheiles ſieht man an:

1⁰ das Vorkommen derſelben in den nicht entwickelten Knoſpen und Samen;

2⁰ Sachs und Knop ſtellen Waſſerculturen an, indem ſie in wenigen pro mille (bis 5 pro mille) in Waſſer löſen: phosphorſauren Kalk, ſchwefelſaure Magneſia, Eiſenchlorid, ſalpeterſaures Kali oder Ammoniak. In ſolchen Löſungen werden mit einer geeigneten Vorrichtung, Fig. 394, die Keimpflanzen gezüchtet bis zur Samenreife. Selbſtredend können nur wenigjährige (ein- und zweijährige) Culturpflanzen dieſem Verſuche ausgeſetzt werden. Indeß iſt es gelungen, Eichen, und Buchen bis zum dritten Lebensjahre zu züchten[1]). Der Verſuch erlaubt offenbar ein Differenzverfahren. Will man wiſſen, ob ein gegebener Körper ein abſoluter Nährkörper für eine gegebene Culturpflanze iſt, ſo braucht man ihn der Pflanze während der Cultur nur vorzuenthalten. Bildet ſie alle Organe bis zum Samen normal aus, ſo iſt der fragliche Körper zur Ernährung nicht abſolut nothwendig.

1. Kohlenstoff. Stickstoff. Wasserstoff. Sauerstoff.

Der wichtigſte und allgemein verbreitetſte Körper, die Celluloſe $C_6 H_{10} O_5$, enthält 44 % Kohlenſtoff, die in der Natur vorkommenden Holzkörper oder verholzten Gewebe enthalten einen höheren Procentſatz, wie durch die Molecularformel verlangt wird:

Eichenholz . . .	52 %
Ebenholz	53 »
Nußſchale	54 ».

[1]) Als Nährſtofflöſung laſſen ſich anwenden in 1000 cc Waſſer 1 g KSO_4, 0,5 $NaCl$, 1 g $CaSO_4$, 0,5 $MgSO_4$, 1 g Ca_3PO_8, Spuren von Eiſenchlorid, das Kalkſalz in verdünnter Salpeterſäure gelöſt, der Ueberſchuß der Säure mit kohlenſaurem Kali geſättigt.

Jedenfalls hat man es in den Pflanzengeweben mit Gemengen verſchiedener, der Celluloſe ähnlicher Kohlehydrate zu thun.

Boussingault[1]) war der Erſte, der die Frage, ob der atmoſphäriſche Stickſtoff von der Pflanze direct aſſimilirt wird, experimentell entſchied. Er züchtete Puffbohnen in einem Apparat, in welchem den Keimpflanzen jegliche Stickſtoffverbindung vorenthalten war, Fig. 395. In einer Wanne iſt die Glocke *A* durch verdünnte Schwefelſäure abgeſperrt, der Same keimt in ausgeglühtem Sande. Durch eine Röhrenleitung *t'* wird CO_2, durch eine zweite *t* die Nährſtofflöſung zugeführt. Alle Theile des Apparates ſind frei von organiſcher Subſtanz. Die Pflanze keimte, kam in drei Monaten zur Samenreife. Alle Theile aber ſtellten gewiſſermaßen nur eine Miniaturausgabe der normalen Pflanze dar. Die Analyſe ergab keinen Stickſtoffzuwachs, dagegen einen kleinen Verluſt, bezogen auf das Stickſtoffreſervoir im Ausſaatobject.

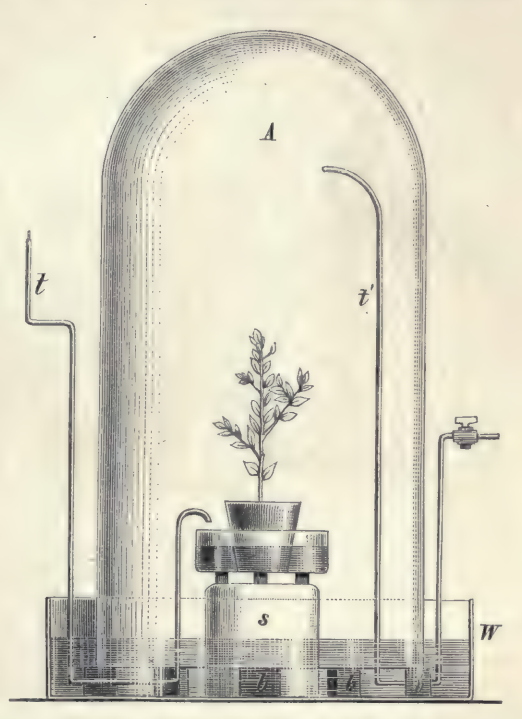


Fig. 395. Die Glasglocke *A* ruht auf drei Porzellan- oder Glasfüßen in der Wanne *W*, auf dem umgeſtülpten Glas *s* ſteht eine zweite Schale, in welcher der Blumentopf ſteht. Dieſelbe wird durch die Röhre *t* mit Waſſer gefüllt, ſo daß der Blumentopf dieſes imbibiren kann. Die Wanne *W* wird bis zur Sperrung der Glocke *A* mit verdünnter Schwefelſäure gefüllt. Das zweite Rohr führt Kohlenſäure, welche auf das ſorgfältigſte gereinigt iſt, in die Glocke *A*. Boussingault's Nachweis, daß das *N* der Atmoſphäre nicht aſſimilirt wird. *Ann. d. sc. nat. Bot. IV. Sér.*, I. Bd. 1854. *Recherches sur la végétation etc.*

Das Stickſtoffcapital, welches in Form von Ammoniakverbindungen oder Salpeterſäureſalzen im Boden der von Pflanzen bewohnten Flächen befindlich iſt, erfährt nur ſehr langſam bei electriſchen Entladungen in der Atmoſphäre einen Zuwachs. Durch den ſehr wichtigen Nachweis von Boussingault, daß der atmoſphäriſche Stickſtoff nicht direct aſſimilirt wird, kommen wir zu der Vorſtellung, daß die Pflanze vorzugsweiſe jene geringen Mengen von in der Atmoſphäre gebildeten Ammon- und Salpeterſäureſalzen

---

[1]) Boussingault, *Recherches sur la végét. Ann. d. sc. nat. IV.* S. 241. — Ad. Mayer, Ueber die Aufnahme von Ammoniak durch oberirdiſche Pflanzentheile. Ab. landw. Verſuchs-Stat. — Nobbe. Bd. XVII. 1874.

anſammelt, die Meteorwäſſer gewiſſermaßen condenſirt. Hieraus ergiebt ſich für den Stickſtoffvorrath die hohe Bedeutung der Waldſtreu und der Düngemittel[1]).

Wir nennen einen Nährſtoff einen ſolchen, welcher zur Bildung von organiſcher aſſimilirter Subſtanz erforderlich iſt. Ohne die Gegenwart eines ſolchen kann die Pflanze gleichwohl alle Phaſen der Blatt-, Blüthe-, Fruchtbildung, aber nur mit geminderter Intenſität, ausführen, wie der Verſuch BOUSSINGAULT's beweiſet.

Freilich iſt hier ein Vorrath bereits aſſimilirter Stickſtoffverbindungen, welcher nur vertheilt zu werden braucht, um die Entſtehung einer Miniaturausgabe der Stammpflanze möglich zu machen.

Bei den Waſſerculturen ſtellt ſich in dieſer Hinſicht eine Schwierigkeit ein. Sie beſteht darin, daß wir nicht wiſſen, ob die gezüchtete Pflanze überhaupt normal in der chemiſchen Conſtitution aller ihrer Verbindungen iſt. Dieß gilt insbeſondere für den Vorrath der aſſimilirten Stickſtoffverbindungen in den Samen und Früchten. Indeß iſt es zweifellos, daß dieſe Art Verſuche anzuſtellen hinreicht, um zu entſcheiden, ob die großen Mengen der Aſchenbeſtandtheile, welche in der Freilandcultur in die Pflanze gerathen, abſolut nothwendig ſind, oder ob der Vegetationscyclus auch mit minimalen Mengen derſelben Nährmittel möglich iſt. Dieſer Entſcheid wird aber ſelbſtredend nur gelten für die Form in der vorliegenden Raçe. Anders geſtaltet ſich dieſe Sache, wenn man in Betracht zieht, daß die Ernährung in letzter Linie mitbeſtimmend ſein muß für die Bildung der Varietät[2]).

FAMINTZIN[3]) kommt von einer Betrachtung über die DARWIN'ſche Lehre zu Culturverſuchen niederer Pflanzen in Nährſtofflöſungen und zeigt, daß eine Reihe von Formänderungen durch die Cultur an ein- und vielzelligen Algen hervorgerufen werden können. Er cultivirte Süßwaſſeralgen zuerſt in verdünnter (½ % feſte Subſtanz) Löſung und gewöhnte durch allmälige Steigerung dieſelben, in 3—5procentiger Löſung (von ſalpeterſaurem Kalk und Kali, phosphorſaurem Kalk, ſchwefelſaurer Magneſia) zu vegetiren. Im Allgemeinen ertragen die Algen höhere Concentration, wie die Phanerogamen in der Waſſercultur. FAMINTZIN zeigt, daß die Lebensweiſe der Algen durch derartige Culturen verändert wird, derart ſelbſt, daß die Zooſporenbildung von Chlorococcum z. B. ſiſtirt wird, wenn die Con-

---

[1]) EBERMAYER, Die Waldſtreu. — SCHRŒDER, Forſtchem. und pflanzenphyſiolog. Unterſ. Schönfeld, Dresden. Heft I. 1878.

[2]) Prof. A. FAMINTZIN, Die anorganiſchen Salze als ausgezeichnetes Hilfsmittel zum Studium der Entwickelungsgeſchichte der niederen Pflanzenformen. 781. Bot. Ztg. 71.

[3]) Prof. A. FAMINTZIN, Die anorganiſchen Salze als ausgezeichnetes Hilfsmittel zum Studium der Entwickelung niederer chlorophyllhaltiger Organismen. *St.-Pétersbourg. Mélanges biologiques.* Bd. VIII. 21. Sept. 2. Oct. 1871.

centration der Löſung geſteigert wird. Statt deſſen vermehrt und theilt ſich die Zooſpore durch ruhende nicht ſchwärmende Zellen. Wurden dieſe wiederum in verdünnte Löſung von $^1/_2$ $^0/_0$ oder in deſtillirtes Waſſer gebracht, ſo trat die gewöhnliche Bildung und Entleerung der Zooſporen wieder ein. Culturen von Conferva und Protococcus in feuchter Luft bewirkten, daſs das Chlorophyll verſchwand und daſs ein rothes Pigment an deſſen Stelle trat. FAMINTZIN zeigt daſs, wie KÜTZING früher angegeben, ein genetiſcher Zuſammenhang zwiſchen den Protococcuszellen und den Conferven beſteht, mit dem Unterſchiede aber, daſs die protococcusartigen Gebilde, welche den Fadenalgen entſprechen, von einander verſchiedene Zuſtände, verſchiedene Organismen ſind. Die Conferven können in Kugeln, ja ſelbſt Moosprotonemen können in Protococcus ähnliche Kugeln zerfallen. Umgekehrt können wirkliche Protococcuszellen durch Veränderung der Ernährungsbedingungen in vegetative Varietäten, welche weit von der gewöhnlichen Form abweichen, umgewandelt werden.

Es wird für die Deſcendenzlehre in letzter Linie doch die Frage ſich aufwerfen, welches die mechaniſchen Bedingungen ſind für das erſte Auftreten der Varietät, beziehentlich der Abweichung von den Aſcendenten. DARWIN geht einmal von dem Satze aus: die Organismen variiren, ohne die endliche Urſache der Variation zu unterſuchen. Sehr wahrſcheinlich wird die Ernährung als endliche Urſache der Formſchwankung erfunden werden.

2. Schwefel- und Phosphorverbindungen.

Die Salze dieſer Säuren häufen ſich zuerſt im Blatte, wandern dann, in den Proteïnkörpern aſſimilirt, nach den Orten der Anhäufung, namentlich den Samen und Früchten, den Reſerveorganen für aſſimilirte Nährkörper: Knollen, Zwiebeln, Rhizomen.

In 1000 Theilen der friſchen Subſtanz ſind Gewichtstheile:

	Schwefelſäure.	Phosphorſäure.
Junges Gras	0,8	2,2
Weizen	0,4	8,2
Reis in der Schale	0,4	32,6
Eichel	0,2	1,6
Buchel	0,6	5,6
Junges Buchenblatt	0,7	0,8
Altes »	2,1	2,4
Weiſstanne Rinde	0,5	0,7
Weiſstanne Holz	0,1	0,1

In den Blättern der Buche, deren Afchengehalt genauer unterfucht ift, finkt der Gehalt an Phosphorfäure von 9,93 ‰ in 233,5 ‰ Trockenfubftanz (*T*) am 7. Mai, bis 3 ‰ auf 436 ‰ (*T*) am 14. Juli, wo die Blätter jedenfalls ganz entfaltet, auf 1,24 ‰ auf 455 ‰ (*T*) im November. Die Afchenbeftandtheile erfahren fomit vor dem Blattfall eine Translocation nach dem Stamm.

3. Chlor. Fluor. Brom. Jod.

Diefe Körper kommen in verfchiedener Menge, Chlor und Fluor fpärlich in allen Landpflanzen, Brom und Jod in Salinen- und Meerespflanzen, den Fucaceen (Kelp und Varec) vor. Ob fie abfolute Rohnährkörper find, ift bis jetzt nicht entfchieden.

In 1000 Theilen frifcher Subftanz find enthalten:

	Chlor.
Eichel	0,8
Buchel	0,1
Junges Buchenblatt	0,7
» Roßkaftanienblatt	0,8
Herbft- »	1,2

4. Kalium. Natrium.

Kalifalze können nicht durch Natron und Lithionfalze vertreten werden (Nobbe, Naturforfcher 71, S. 247[1]).

Kalifalze find abfolut nothwendige Nährmittel für die Bildung der Stärke und fomit der Zellhäute.

In 1000 Theilen frifcher Subftanz find enthalten:

	Kali.	Natron.
Junges Gras	11,6	0,4
Weizen	5,5	0,6
Ungefchälter Reis	12,5	3,1
Buchel	6,2	2,7

[1]) Prof. Dr. Fr. Nobbe, Dr. J. Schrœder und R. Erdmann: Ueber die organifche Leiftung des Kaliums in der Pflanze. Chemnitz. Eduard Focke. 1871. — J. Böhm, Nährwerth der Kalkfalze. Sitzgsber. d. Kaif. Acad. d. Wiffenfch. 1875. Bd. 71. — H. Ludw. Rissmüller, Ueber die Stoffwanderung in der Pflanze. Göttingen. Univerf.-Buchhandlung A. Huth. 1873.

	Kali.	Natron.
Erlenſamen	16,6	0,7
Buchenblatt { jung	1,0	0,1
Buchenblatt { Herbſt	3,0	0,3
Roßkaſtanie { jung	8,3	—
Roßkaſtanie { Herbſt	5,9	—
Birke { Holz	0,3	0,2
Birke { Rinde	0,4	0,6
Weißtanne { Holz	0,4	0,2
Weißtanne { Rinde	2,3	0,9

Aus demſelben Waſſer wurden aufgenommen von Chara verſchwindende Mengen von Kali, von der Hottonia aber ſehr bedeutende Mengen. Ebenſo verhalten ſich beide Pflanzen verſchieden in Bezug auf die übrigen Nährkörper[1]).

Procente der Geſammtaſche.

	Kali.	Natron.	*Na Cl.*	*Fe₂ O₃.*	*Ca O.*	Phosphorſäure.
Chara	0,49	0,18	0,14	0,04	54,73	0,57
Hottonia	8,34	3,18	8,94	1,82	21,29	3,95

5. Calcium. Magnesium.

Die Alkalimetalle, an Schwefelſäure, Phosphorſäure und Kohlenſäure gebunden, ſind weſentliche Nährmittel. Sie werden vorzugsweiſe in der Membran in molecularer Vertheilung eingelagert und zwar vorzugsweiſe in den Zellen des Innern. In den peripheren Geweben, ſo namentlich in der Epidermis und den peripheren Baſtlagen wiegen die Kieſelſäureverbindungen vor. Andererſeits zeigen die Rinden einen höheren Gehalt der alkaliſchen Erdmetalle wie das Holz[2]).

In 1000 Theilen der friſchen Subſtanz.

	Kalk.	Magneſia.
Fichte { Holz	1,0	0,1
Fichte { Rinde	14,9	1,1
Weizen	0,6	2,2

[1]) Hofmeister-Sachs, Handbuch der Experimentalphyſiologie der Pflanzen. IV. S. 141 ff.

[2]) ſ. auch Schrœder, Forſtchem. und pflanzenphyſ. Unterſ. Heft I.

	Kalk.	Magnefia.
Erlenfamen	13,6	3,5
Junges Buchenblatt	9,0	1,2
Herbft- »	25,8	3,4
Weißtanne { Holz	1,2	0,1
Weißtanne { Rinde	19,6	0,8

Die Kalk liebenden Saxifragen bilden an ihren Blattzähnen kleine bis 1 mm große fefte, weiße Mineralfecrete (Kalkfchüppchen), Fig. 396. Durchfchneidet man das Blatt, fo findet man das Schüppchen in einer Vertiefung am Rande eingefenkt, wenig von demfelben entfernt endet das Gefäßbündel, und dicht bei der Schuppe liegt eine fpindelförmige, aus fehr dünnwandigem plasmareichem Parenchym beftehende Drüfe, *D* Fig. 396, welche fich in der mikrofkopifchen Wahrnehmung fcharf von dem großzelligen Parenchym, *P* Fig. 396, des Blattes abhebt.

Die Afche enthält *CaO* %.

	Kalkboden.	Nicht Kalkboden.
Braffica olerac.	27,9	13,6
Napus	43,6	19,0
Allium Porrum	22,6	11,4

6. Mangan. Eisen. Zink[1]).

Das Eifen wird allgemein als Afchenbeftandtheil vorkommen. Es ift zur Chlorophyllbildung ein abfolut nothwendiger Nährkörper. Mangan kommt in merklichen Mengen in der Fichtenafche bis 33 %, in der Tannenafche bis 13 % (als Manganoxydul in Rechnung gebracht) vor.

In der Varietät der Viola tricolor, welche in der Nähe der Galmeigruben vorkommt, findet fich Zink in

ZnO in der Afche.	Gefammtafche.	*ZnO*.
Stamm von Thlafpi alpeftre calaminaria . .	11 %	3,28 %
» » Viola calaminaria	10,5 »	0,62 »

beträchtlicher Menge in der Afche. Der Habitus der Pflanze ift, bezogen auf die Stammform, verändert, fo daß die Varietät die Viola calaminaria genannt wurde.

1) SCHRŒDER a. a. O. S. 9.

7. Kieselsäure.

Die Kiefelfäure befindet fich oft im dreifachen Gewicht aller übrigen feften Beftandtheile in der Epidermis der Stämme und Blätter. Gleichwohl können fonft kiefelreiche Pflanzen in der Nährlöfung ohne Kiefelfäure erzogen werden.

In 1000 Theilen der frifchen Subftanz find enthalten Gewichtstheile:

	Kiefelfäure.
Junges Gras	2,1
Weizenftroh	28,2
Junges Buchenblatt	6,8
Herbft- »	19,5
Fichtennadel	18,4
Kiefer { Holz	0,1
Kiefer { Rinde	3,8

8. Das Aschenskelett (Gesammtasche).

Es giebt keinen ausgewachfenen Pflanzentheil, welcher nicht bei dem Verbrennen ein Skelett von Afche hinterließe. Auszunehmen find die ganz jungen Knofpenanlagen, die cambiale Zone der Stämme, wo die feuerfeften Verbindungen, in geringerer Menge vorhanden, fich dem Nachweis entziehen. Das durch Einäfcherung hergeftellte Skelett ift, bezogen auf das urfprüngliche Volum, etwas zufammengefintert, zeigt aber, wenn es an mikrofkopifchen Durchfchnitten zwifchen zwei Glasplättchen auf einer Platinfchale hergeftellt wurde, alle Structurverhältniffe des unverbrannten Durchfchnittes. Die Afchentheilchen müffen fomit in den Membranen außerordentlich fein vertheilt fein.

Für die frifche Subftanz der Pflanzentheile fchwankt der Gehalt an Afche zwifchen 2,1 pro mille bei dem Holz der Weißtanne und 69 pro mille bei den kiefelharten Samen der Gramineen.

Für den Wald liegen uns einige werthvolle Notizen SCHRŒDER's vor. Pro Hectar und Jahr gehen aus dem Boden in die Maffe des Baumes über in Kilogrammen:

	Kiefer.	Fichte.	Weißtanne.	Buche.
K_2O	6,93	8,90	17,89	17,03
CaO	26,55	71,18	83,76	104,17
MgO	6,24	8,93	11,08	17,97
PO_8H_3	4,80	8,04	11,71	14,68
SO_4H	1,91	2,78	4,35	3,95
SiO_2	7,06	54,64	9,29	64,10.

Im Allgemeinen ſinkt der Aſchengehalt von den älteren Stammtheilen nach dem Zweigſyſtem hin. Das Eiſen macht hiervon eine Ausnahme; ebenſo die Phosphorſäure. Dieß läßt ſich aus den Vorgängen der Translocation der aſſimilirten Nährkörper, welche vom Blatte abſtrömen, dort aber auch zuerſt gehäuft werden, erklären.

Geſammtaſche in 1000 Theilen der friſchen Subſtanz.

Holz.

Eiche	5,0
Birke	2,6
Tanne	2,4
Fichte	2,1.

Blätter.

Junges Buchenblatt	20
Herbſt- »	57,4
Kiefernadel	6,3
Fichte	26,3.

Rinde.

Eiche	2,0
Birke	11,0
Tanne	28,1
Fichte	23,9.

Samen.

Weizen	17,3
Reis	69,0
Eichel	12
Buchel	27
Erlenſame	44.

Aſchenzuwachs vom jüngeren nach dem älteren Zuſtande.

Nach den Unterſuchungen Rissmüller's[1]) iſt die Veränderung des Aſchengehaltes von dem jüngeren Zuſtand der Blätter nach dem ausgewachſenen eine ſehr merkliche.

---

[1]) Rissmüller, Ueber die Stoffwanderung in der Pflanze. Inaug.-Diſſ. d. Univ. Göttingen. 1873. Univ.-Buchhandlung E. A. Huth.

1000 Theile frischer Blätter	KaO	CaO	PO_8H_3	SiO_2	Gesammt-asche.		Trocken-substanz.
vom 7. Mai enthalten	14,5	6,7	9,9	0,8	46 ⁰/₀₀	auf	233 ⁰/₀₀
« 11. Juni «	11,31	12,9	8,43	10,0	52 «	«	402 «
« 14. Juli «	20,81	11,8	3,9	16,2	74 «	«	436 «
« 11. Aug. «	1,19	3,9	0,6	2,3	90 «	«	507 «
« 11. Sept. «	1,1	3,26	0,45	1,9	89 «	«	474 «
« 27. Oct. «	0,87	3,5	0,36	2,5	108 «	«	403 «
« 18. Nov. «	0,74	4,2	0,14	2,96	114 «	«	455 «

Hieraus geht hervor, daß die Aschenbestandtheile im Blatt gehäuft und dann wieder gemindert werden. Wie weit dieß darin begründet ist, daß die Assimilationsproducte, deren Verflüssigung ohnedieß nothwendig behufs der Rückleitung ist, den gefundenen Aschengehalt beanspruchen, kann freilich nicht ganz genau festgestellt werden. Indeß muß man beachten, daß KaO, CaO, SiO_2 jedenfalls zum großen Theil in der Membran eingelagert waren. Die Analysen ergeben dann in der That, daß die Asche zurückgeleitet, an andern Orten stärker angehäuft wird.

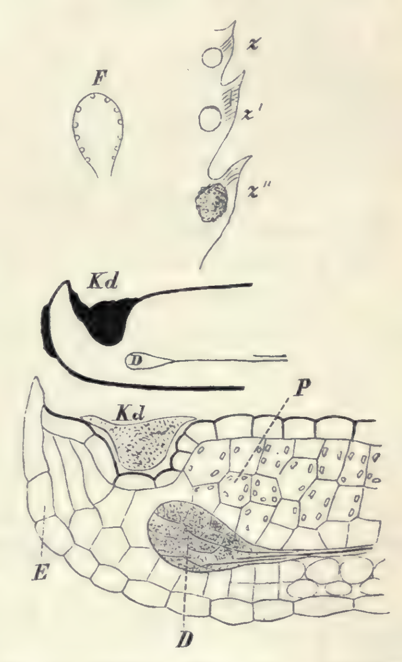


Fig. 396. Saxyfraga Aïzoon. In z z' z'' die Zähne des Blattes mit den Kalkschuppen. *F* Blatt in natürl. Größe. In der mit *Kd D* bezeichneten Figur ein schematischer Durchschnitt, unten ein mikroskopischer Durchschnitt durch das Blatt, da wo eine Drüse *D* sitzt. *E* Epidermis, *P* Parenchym des Blattes. *Kd* der Kalk.

E. Ort der osmotischen Aufnahme.

1. Wurzelauszweigungen.

Die Wurzel grenzt an die größeren oder kleineren Erdtrümmer und nimmt mit einem in der Nähe der Spitze belegenen Cylinderabschnitt das Bodenwasser auf. Die Spitze selbst ist bei der großen Mehrzahl der höheren Pflanzen mit einer rindenähnlichen Haube, der Wurzelmütze, bedeckt, daher zu dem osmotischen Verkehr weniger adaptirt, wie jener rückwärts belegene Cylindertheil. An den beobachteten Keimwurzeln entspringen die Haare des Epiblema, welche die aufsaugende Fläche der Wurzel um das Vielfache vergrößern, in Distanzen von 5—20 mm von der Spitze. Mit Ausnahme der Lycopodiaceen geschieht alle Verzweigung des Wurzelkörpers durch adventive Sprossung weit hinter der wachsenden Spitze.

2. Wurzelhaare.

Die Haare an jener beſtimmten Stelle des Wurzelcylinders ſind einzellige cylindriſche Ausſtülpungen des Epiblema; reich an Protoplasma, bis zu 5 mm lang, wachſen ſie in den Boden zwiſchen die zum Theil mikroſkopiſch kleinen Geſteinstrümmer, welche ihnen feſt ankleben. Die Wand des Haares beſitzt während des Wachsthums eine geringe Plaſticität, welche dieß zuläßt (ſ. SACHS, Exp.-Phyſiol. S. 184 ff.).

3. Secretion einer Säure aus der Wurzel.

Zertrümmert man eine Wurzelſpitze der Erbſenkeimlinge, der Culturpflanzen Mais u. ſ. f., indem man ſie auf Lackmuspapier legt und mit einem Hammerſchlag zerquetſcht, ſo entſteht ein rother Fleck, welcher auch nach dem Trocknen des Reagenzpapieres nicht verſchwindet.

In einer feuchten Kammer werden die Keimlinge ſo ausgeſtreut, daß die Spitzen auf blauem Lackmuspapier auftreffen und parallel der Papierfläche wachſen. Die Wurzel färbt in ihrer Bahn auf dem Papier dasſelbe roth.

Kleine Sämereien wie die Kreſſe, Roggen u. ſ. f. eignen ſich zu Ausſaaten zwiſchen zwei Kalkſpathkryſtallen. Man legt die eben angekeimten Samen auf die Fläche des einen Kalkſpathes und belaſtet ſie mit einem zweiten Kryſtall, oder mit einem flachen Stein. Die platte Fläche des Kryſtalles wird durch die Wurzelſpitzen corrodirt, und auf dem ganzen Verlauf dieſer erſcheint eine Gravirung, welche die Bahn der Wurzelſpitze bezeichnet.

F. Diffusionsversuche[1]).

Die Geſchwindigkeit der Bewegung löslicher Körper iſt abhängig von ihrer chemiſchen Natur. Läßt man Löſungen von derſelben Concentration ein Mal durch eine geſchloſſene Membran, das andere Mal durch Waſſer diffundiren, ſo erhält man Beziehungen für die verſchiedenen Salze, welche unzweideutig auf die verſchiedene Moleculargeſchwindigkeit hinweiſen.

Zu dem Behufe wurden gleiche Mengen der Haloidſalze in den Grund einer 25 cm hohen Waſſerſchicht von gleichem Querſchnitt ſo ſorgfältig verſenkt, daß eine Miſchung nicht möglich war. Nach gleicher Zeit für alle wurde das gleiche Quantum des Waſſers von der Oberfläche mit der Bürette herausgenommen und auf Chlor titrirt. Parallel laufend mit dieſem

---

1) PFEFFER, Osmotiſche Verſuche. Leipzig 1877. W. Engelmann. — N. J. C. MÜLLER, Bot. Unterſ. Bd. I. S. 168. — Dr. TH. HARTIG, Ueber das endosmotiſche Verhalten der Holzfaſer. 285. Bot. Ztg. 63. — A. HEINTZ, Vorleſungsverſuch z. Osmoſe. Ber. d. deutſch. chem. Geſellſchaft zu Berlin. VII. Jahrg. XI. Heft. — TH. HARTIG, Ueber die endosmot. Eigenſch. der Pflanzenhäute. Bot. Ztg. 1853.

Verſuch wurden dieſelben Salze in geeigneten Osmometern der Membrandiffuſion ausgeſetzt und die Mengen der Verbindungen für beide Vorgänge verglichen:

	Durch die geſchloſſene Membran.	Durch eine 25 cm hohe Waſſerſäule.
Chlorammon	0,494 grm	*0,0024* grm
Chlorkalium	0,0254 »	0,0022 »
Chlornatrium	0,02457 »	0,0025 »
Chlormagneſium	0,5076 »	0,03525 »
Chlorbarium	0,0032 »	*0,00190* »

Für gleiche Zeiten erhalten wir für Chlorammonium 0,494, für Chlorbarium aber nur 0,0032 durch die Membran, und 0,0024 für erſtere, 0,0019 für letztere Verbindung durch die Waſſerſchicht diffundirt.

1. Die Osmose.

Die Osmoſe iſt der ſpecielle Fall der Diffuſion oder Miſchung zweier chemiſch verſchiedener Flüſſigkeiten, deren Grenzflächen durch eine Membran getrennt ſind. Der Membran entſpricht bei der Pflanze draußen die freie Oberfläche der an das Bodenwaſſer grenzenden Zellen oder die gemeinſchaftliche Membran je zweier Zellen im Innern der Pflanzengewebe.

Wir haben es jetzt mit einem neuen Moment zu thun: mit der Anziehung der Membran zu den Flüſſigkeitstheilchen.

Die Phänomene werden mechaniſch complicirter, da jetzt zu unterſuchen ſind:

a a die Anziehung zweier Theile der Flüſſigkeit *A*.
b b « « « « « « *B*.
a c « « der Theilchen von *A* zur Membran *C*.
b c « « « « « *B* « « *C*.

Endlich aber wächſt die Verwickelung der hier einſchlägigen Erſcheinungen dadurch, daß gelöſte feſte Körper in *A* und *B* in Betracht kommen. Dieſer Fall wird gerade bei den Diffuſionsvorgängen in Organismen eine große Rolle ſpielen. Es kommen jetzt, wenn wir mit $\alpha\,\alpha'$ die ſpecifiſchen Anziehungen der gelöſten Körper bezeichnen, noch zu jenen hinzu:

$$\alpha\, a \cdot \alpha\, b \cdot \alpha\, c$$
$$\alpha'\, a \cdot \alpha'\, b \cdot \alpha'\, c.$$

In der Pflanze iſt *A* und *B* gleich, inſofern das Löſungsmittel in der großen Mehrzahl der Fälle das Waſſer iſt.

Nur der Protoplasmakörper wird ſelbſt wieder, bezogen auf alle übrigen Löſungen, eine ähnliche Rolle ſpielen, wie die Membran gegenüber wäſſerigen Löſungen. Er beſitzt zwar keine feſte Membran, ſondern nur die Grenzſchicht einer zähflüſſigen Maſſe, doch zeigt derſelbe ähnliche Widerſtände, wie die jugendliche Membran ſelbſt, welche als Niederſchlag aus ihm entſtanden iſt.

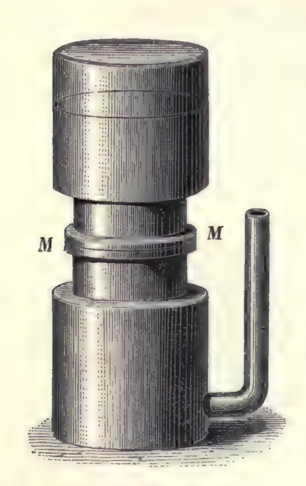


Fig. 397. Recipient für osmotiſche Verſuche. In der Berührungsfläche *M M* der beiden Gasgefäße wird die Membran befeſtigt. Die Ränder der Gläſer können durch Klammern aneinandergepreßt werden.

Die osmotiſchen Vorgänge hängen von der Temperatur ab; ſie verlaufen in den direct beſtrahlten Theilen raſcher, wie in den von der Erde bedeckten des Wurzelkörpers.

Die osmotiſchen Vorgänge ſind vom Drucke abhängig. Derſelbe ſchwankt in der Pflanze in Folge der Beſtrahlung und dadurch, daß in einem gegebenen Gewebe die osmotiſch wirkſamen Körper ſoeben entſtehen und nach dem Orte geringſten Widerſtandes geleitet werden. So ergießt ſich von den äußerſten Enden des Baumkörpers über das ganze Syſtem ein Strom des feſten Bildungsmateriales im Zeitraum von der Blattentfaltung bis zum Blattfall, während gleichzeitig ein entgegengeſetzt gerichteter Waſſerſtrom von der Wurzel aus herrſcht.

2. Natürliche Membranen.

Pflanzenhäute ohne mit dem Mikroſkop ſichtbare Lücken, namentlich ſolche, welche aus nur wenig Zellplatten beſtehen, ſind außerordentlich ſchwierig zu beſchaffen. Man hat nun zwar in der gelöſten Celluloſeverbindung der Schießbaumwolle (Collodium) ein Mittel, größere Platten herzuſtellen. Die Collodiumhaut aber iſt dichter, wie jede pflanzliche. Die Diffuſionsvorgänge verlaufen außerordentlich langſam. Auch iſt mit Beſtimmtheit anzunehmen, daß ſie in Hinſicht der molecularen Poren weit von den pflanzlichen Membranen abweicht.

Zu osmotiſchen Verſuchen hat man außer der thieriſchen Blaſe Pergamentpapier, chineſiſches oder Reispapier (dünne Lamellen aus dem Marke der Aralia papyrifera) angewandt.

Bei dem Verſuch in Fig. 398 iſt die U-Röhre mit Gummi oder Zuckerlöſung gefüllt, taucht in *a* in Waſſer, iſt dort mit einfacher Lage von Reispapier geſperrt, in *b* aber mit drei oder vier Lamellen derſelben Membran. Der hydroſtatiſche Druck ſteigt, in *b* aber filtrirt reines oder faſt reines Waſſer.

Es ist mir gelungen, in einer Epidermis (von Hæmanthus puniceus) eine Membran in größeren bis zu zwei Zoll großen Lappen lückenlos abzuziehen, welche näherungsweise den Forderungen für das Experiment entspricht.

Herr Studiosus VON KNIERIM[1]), welcher in meinem Privatlaboratorium in Heidelberg in dem Jahre 1872 beschäftigt war, verwandte dieses Material, um einige Versuche über die Durchgangsgeschwindigkeit verschiedener Substanzen durch eine solche Membran zu bestimmen. Ich habe diese Versuche wiederholt und die von KNIERIM erhaltenen Resultate im Allgemeinen bestätigt gefunden. Der angewandte Osmometer bestand aus zwei Opodeldoc-Gläsern, deren Rand abgeschliffen war (Fig. 397). Das untere Gefäß enthält die Lösung, das obere reines Wasser. Beide sind durch die Membran getrennt. Zur bequemeren Handhabung ist an dem unteren Gefäß ein offenes Rohr angeschmolzen, in welches man die Luftblasen, welche sich beim Befestigen der Membran nicht vermeiden lassen, dadurch eintreten läßt, daß man das Gefäß neigt. An dem oberen Gefäß ist der Boden abgesprengt.

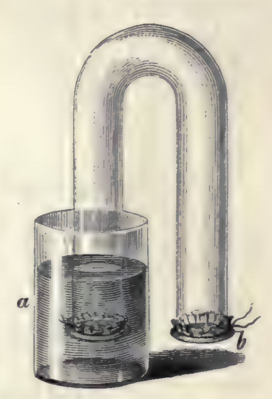


FIG. 398. Vorrichtung für osmotische Versuche. Die Mündung des U-Rohres in *a* in Wasser und die Mündung in *b* mit Blase oder Pergamentpapier verbunden, nachdem das Rohr mit Zucker- oder Gummilösung gefüllt ist.

Die Durchgangsmengen verhalten sich für dasselbe Zeitintervall von zweimal 24 Stunden wie die Zahlen in der beifolgenden Tabelle[1]).

Ich wiederholte diese Versuche mit drei gleichen Osmometern von der obigen Gestalt und verglich zuerst

Kalisalpeter,
Zucker,
Gummi

---

[1]) Gewichtsmengen verschiedener Substanzen, welche durch dieselbe Pflanzenmembran hindurchgehen (bei gleichem Druck, Temperatur und gleichem Volum Wasser in einer der Zellen):

Gummi.	Moleculargewicht.	Durchgangsmenge.
$C_{12}H_{10}O_{10}$ Gummi	162	0
$C_{12}H_{11}O_{11}$ Zucker	171	0,3
$CaNO_6$ salpeters. Kalk	82	1,56
$Na_3PO_8 24HO$ phosphors. Natron . .	165	2,3
KCl Chlorkalium	74	2,5
NH_4Cl Chlorammon	53	13,978

Mit höherem Moleculargewicht sinkt die Menge der diffundirten Substanz.

für gleiche Membranflächen, gleiche Zeit und gleiche Temperatur. Von den genannten Subftanzen wurden je 0,5 grm in etwa 13 Theilen Waffer in die unteren Zellen gegeben und viermal 24 Stunden gewartet. Nach diefer Frift, während welcher die Mitteltemperaturen etwa 23° C. waren, wurden die Löfungen im Wafferbad eingedampft und der Rückftand durch Wägung beftimmt; es ergaben fich für $KaNO_6$ 0,015 grm, für Zucker und Gummi nicht wägbare verfchwindend kleine Spuren.

In einem zweiten Verfuch wurde Zucker mit Chlornatrium verglichen. Die Durchgangsmengen verhielten fich nach viermal 24 Stunden wie

Chlornatrium 0,014,
Zucker . . . . 0,003.

Es blieben mir noch zwei Membranen, um ein Eifenfalz mit einem Magnefiafalz zu vergleichen. Es wurden 0,5 grm Eifenvitriol und 0,5 grm Bitterfalz angewandt. Nach viermal 24 Stunden ergab fich für Bitterfalz eine kaum wägbare Spur. Das Eifen war aber felbft nicht qualitativ in der oberen Zelle nachweisbar. Dagegen fanden fich in derfelben deutliche Spuren von Schwefelfäure. Durch diefes Ergebniß ift zur Genüge erwiefen, daß die angewandte Membran von groben Lücken frei war. Hr. Dr. Askenasy, Privatdocent der Botanik in Heidelberg, war fo freundlich, mir fpäter mehrere Blätter von Hæmanthus zuzufenden, fo daß ich in der Lage war, die Verfuche fortzufetzen. Diefelben wurden in dem folgenden Sinne angeftellt. Um von der Temperatur unabhängig zu fein, wurden je zwei Subftanzen in jedem der Verfuche mit Chlornatrium verglichen. Es wurden dabei nur Chlorfalze angewandt, welche auch für minimale Spuren mit einer Normalfilberlöfung maßanalytifch beftimmt werden konnten. In der folgenden Tabelle find die Durchgangsmengen mit dem Moleculargewicht zufammengeftellt.

Salz.	Molecular-gewicht.	cc der Normal-filberlöfung.	Abfolut. Gewicht der diffundirten Chlorverbindungen.
NaCl	58,50	0,45	0,0026325 grm
CaCl	55,50	0,25	0,0013875 »
1. Verfuch. Dauer der Osmofe 10 Tage. Temp. 10° C.			
NaCl		0,45	0,0026325 »
NH₄Cl	53,46	1,20	0,0064152 »
KCl	74,70	0,32	0,002390 »
2. Verfuch. Dauer der Osmofe 6 Tage. Temp. 12° C.			
NaCl		1,15	0,0067275 »
BaCl	10,40	0,18	0,001872 »
3. Verfuch. Dauer der Osmofe 12 Tage. Temp. 10° C.			

Die osmotifche Spannung, welche fich in den Zellen, Fig. 394, rafch ausgleicht, kann, fowie es in der Pflanze thatfächlich gefchieht, für längere Zeit gefpart werden, wenn der Druck ein kleinerer wird und wenn man

die osmotifch gefpannte Zelle an das entgegengefetzte Ende der Kette legt. Die Zellenkette (Fig. 399) befteht aus 13 Glascylinderchen, welche beiderfeits offen und mit abgefchliffenem Rande verfehen find. Alle find mit Waffer gefüllt, fo aber, daß die Wafferfäule von der Waffer aufnehmenden

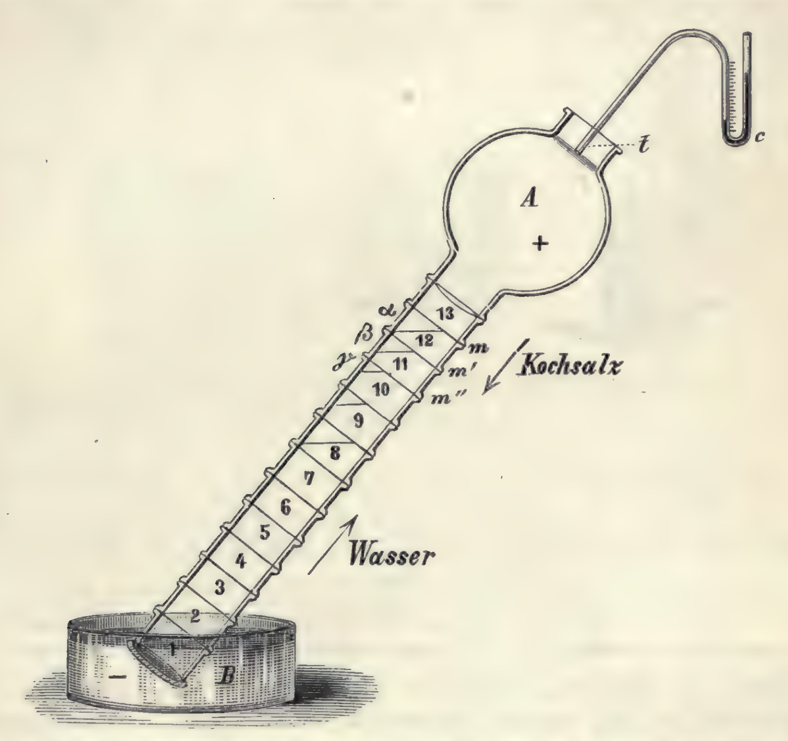


Fig. 399. Diefer Apparat entfpricht einer Zellenkette, welche fich von dem verdunftenden nach dem wafferaufnehmenden Pol in der Pflanze erftrecken möge. Die mit Kochfalz oder Zucker gefüllte Zelle *A* entfpricht dem Blatte, die Zelle *B* dem Boden, aus welchem die Wurzelzelle 1 Waffer aufnimmt.

Zelle 1 nach der größeren Kugelzelle *A* durch 14 Membranen, welche in den Verbindungsftellen der Glascylinder liegen, unterbrochen ift. Die große Zelle enthält concentrirte Kochfalzlöfung. Sie entfpricht dem Blatte, von dem aus die plaftifchen Körper fich rückwärts vertheilen. Der Verfuch dauerte zehn Tage und es floß ftetig aus *c* etwas von der Flüffigkeit aus. Im Ganzen floffen 6,2 cc aus (am letzten Tag 0,5 cc).

Die Titration ergab:

Zelle	13	1,86	g	Kochfalz
«	12	0,75	«	«
«	10	0,818	«	«
«	8	0,268	«	«
«	3	0,114	«	«

Es macht ſich in dem Verſuch eine Periode bemerklich von 13 nach 12 und 12 nach 10. Dieß beruht in einem Fehler, der bei Anwendung von Pergamentpapier nicht vermieden werden kann, weil die Waſſerſäulen nicht durch Capillarität gehalten werden.

Nach der Auffaſſung Brücke's kommt bei der Osmoſe lediglich die Anziehung der Membran zu den Flüſſigkeiten in Betracht (m. ſ. auch Naturf. 1878. Jan. Quinke).

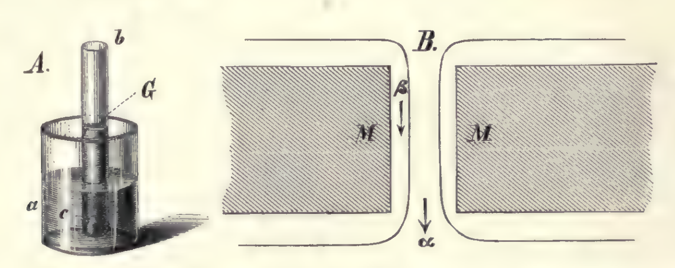


Fig. 400. *A* Apparat für die Osmoſe von Gummilöſung in *b*, Waſſer in *a*, durch einen capillaren Riß im Glasrohr *b*. *B* Durchſchnitt des Riſſes, *M M* die Glasmaſſe, Pfeil α ſtellt den centralen Strom Gummi, Pfeil β den Wandſtrom Waſſer dar.

Die Osmoſe geht durch einen capillaren Spalt in einem Glasbehälter, Fig. 400, ähnlich vor ſich, wie durch die molecularen Poren der Membranen. Die Gummilöſung in *G*, Fig. 400, hebt durch den Spalt *c* Waſſer nach *b*, während nur verſchwindende Mengen derſelben nach *a* gehen. Das Niveau der Gummilöſung ſteigt. Iſt die Anziehung des Wandſtromes, Fig. 400 *B* β, für Waſſer ſehr groß gegenüber derjenigen des centralen Stromes α, ſo fließt nur Waſſer, der letztere Strom wird gleich Null. In dieſem Fall wird das osmotiſche Aequivalent unendlich[1]), ſo bei Gummi, Leim, Traganthgummi (welcher nach Hofmeister's Unterſuchungen unlöslich, aber unbegrenzt quellungsfähig iſt und nicht filtrirt werden kann), Hühnereiweiß u. a. m. Dieſe Ströme, welche unter dem Einfluß der Flächenanziehung ſtehen, werden noch dadurch in gewiſſen Fällen alterirt,

[1]) Endosmotiſches Aequivalent für thieriſche Membran: Waſſermenge, welche ſich für 1 g der Subſtanz in entgegengeſetzter Richtung durch die Membran austauſcht. Dieſe Waſſermengen ſind für:

Alkohol	4,13	
Chlornatrium	4,22	
Zucker	7,25	
Schwefelſ. Natron . .	11,05	
« Magneſia . .	11,65	
« Kali . . .	12,70	
Kalihydrat	231,4,	hier kommt die Quellung der Membran als eine theilweiſe Zerſtörung der Membran durch die Kalilauge in Betracht.

daß die Weite der Poren in einer organischen Membran nicht constant zu sein braucht. Denken wir uns an eine Fläche eine Flüssigkeit angrenzen, welche die Membran zum Quellen bringt, z. B. Wasser, so wird der Porus verengt durch die Quellung nach Analogie der Holzzelle (s. oben S. 92).

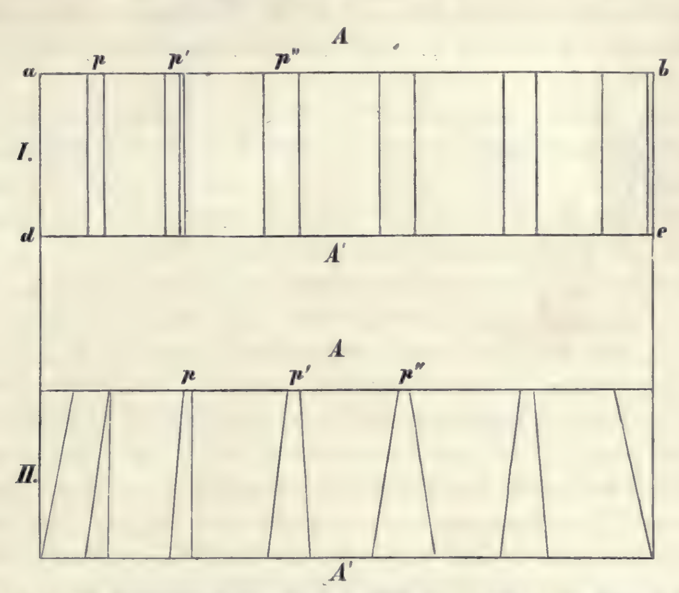


Fig. 401. *I a b d e* ein Membrandurchschnitt, auf beiden Seiten nach *a b* wie *d e* mit Wasser in Berührung, die Porengänge *p p'* gleichweit. In *II* ist die Membran in *A'* mit Wasser, in *A* mit einer concentrirten Lösung in Berührung, welche die Poren verengt, weil die Membran schrumpft.

Grenzt an die andere Fläche eine concentrirte Lösung, welche die Membran zum Schrumpfen bringt, so wird der Porus erweitert (Fig. 401 *II*). Gleiche Porendurchmesser werden nur dann vorhanden sein müssen, wenn beiderseits gleiche Flüssigkeit angrenzt (Fig. 401 *I*).

3. Künstliche Membranen.

Bei künstlichen Membranen haben, abgesehen von der Collodiumhaut, in erster Linie die Traube'schen Zellen eine Bedeutung, insofern sie in ähnlicher Weise künstlich hergestellt, wie die natürlichen entstanden sind. Solche Membranen entstehen aus Gerbsäure und Leim, aus kohlensaurem Kali und Chlorcalcium, Ferrocyankalium und Eisenchlorid, und vielen anderen Körpern, welche bei der Berührung einen Niederschlag bilden. Traube zeigte:

1⁰ daß alle solche Membranen wie die Pflanzenmembranen wachsen (s. oben S. 99 ff.);

2⁰ daß die molecularen Interstitien für alle Molecule von kleinerem Volum (resp. Moleculargewicht) permeabel sind, während sie die Molecule ihrer Membranogene, resp. *CaCl* und $KaCO_3$, *FeCyK* und Fe_2Cl, u. s. f. nicht hin-

durchlaſſen. So wird in einer ſolchen Metallmembran noch Waſſer und ein Ammonſalz durch die molecularen Poren hindurchgelaſſen, aber nicht diejenigen Molecule der Salze, aus welchen durch wechſelſeitige Zerſetzung die Membran ſelbſt niedergeſchlagen wurde.

Eine jede Niederſchlagsmembran iſt für ihre Membranogene undurchdringlich, während ſie für Subſtanzen mit kleinerem Moleculargewicht permeabel iſt.

Traube ſchloß aus gewiſſen Eigenſchaften der pflanzlichen Membranen, daß ſie, den Niederſchlagsmembranen analog entſtanden, ſelbſt Niederſchlagsmembranen aus einem vorher gelöſten Amyloid und dem Sauerſtoff der Atmoſphäre darſtellen. Er wies auf die große Dichte der pflanzlichen Häute hin. Nach dieſer Anſchauung müßte die Pflanzenmembran unter gewöhnlichen Umſtänden durchaus undurchdringlich für ſolche Molecule ſein, welche ein der Celluloſe oder dem Amylum ähnliches Moleculargewicht beſitzen (z. B. Gummi). In der That realiſirt die Traube'ſche Zelle im Allgemeinen mehrere Phänomene der Pflanzenzelle:

1⁰ die abſolute Impermeabilität für concentrirte Löſungen und Protoplasma durch die freie Oberfläche an der Pflanze. Die Ausſcheidung (Secretion) nach der Oberfläche iſt ein ſeltenes und eng localiſirtes Vorkommniß, wiewohl die Flüſſigkeiten im Inneren unter hohem hydroſtatiſchem Drucke ſtehen. Die Wurzel nimmt große Waſſermengen auf, ohne einen merklichen Aufwand durch Exosmoſe zu machen;

2⁰ die Traube'ſche Zelle hat das Flächenwachsthum durch Intusſusception mit der natürlichen Membran als gemeinſchaftlichen Zug.

Herr Pfeffer hat in der neueſten Zeit einige beachtenswerthe Verſuche über Osmoſe publicirt. Er wandte neben Pergamentpapier kleine Thonzellen an, deren Poren er mit Traube'ſchen Niederſchlagsmembranen verſchloß,

1⁰ indem er die beiden Membranogenlöſungen von innen und von außen durch die Thonwand filtriren ließ;

2⁰ indem er in der Thonzelle eine Traube'ſche Zelle herſtellte, deren Niederſchlagsmembran ſich der Innenwand anlegte[1]).

Er verbindet mit dieſen Zellen, deren Volum conſtant iſt, während bei den Pergamentpapierzellen eine Dehnung der Membranen nicht ausgeſchloſſen werden kann, geeignete Manometer (ſ. S. 5, 15, 17, 22) und beſtimmt die osmotiſche Leiſtung der verſchiedenen Colloide und Kryſtalloide:

Ein langſam diffundirender Körper (Graham's Colloide), Gummi, lieferte bei gleicher Concentration (6 %) eine Druckhöhe von 24—27 cm

[1]) a. a. O. S. 5.

Queckſilber, während der diffuſiblere Zucker eine Queckſilberſäule von 290 cm ergab.

In Membranen von Ferrocyankupfer wurden die Zuſtrömungswerthe für Waſſer beſtimmt, nachdem die Zellen mit Zucker und Gummilöſung verſchiedener Concentration gefüllt waren. Dieſe Körper paſſiren die TRAUBE'ſche Zelle nicht. Es ergab ſich, daß die zuſtrömenden Waſſermengen nicht proportional der Concentration wachſen. Die Meſſung geſchah, indem die Waſſerzuſtrömungswerthe in dem Zuſtrömungswerth zu 1 procentiger Löſung ausgedrückt wurden[1]). So ergiebt ſich für Zucker von 1 % zu 10 %, zu 32 % ein Verhältniß der Zuſtrömung von 1 zu 11,6, zu 48,4, für Gummi von 1 % zu 18 % ein Zuwachs von 1 zu 16,4. Bei dem Salpeter, welcher durch die genannte TRAUBE'ſche Membran diosmirt, ergiebt ſich ein Zuwachs bei von 1 % nach 18 % von 1 nach 11,69.

In Gemengen von einem Colloid und einem Kryſtalloid wurden Zuſtrömungsmengen gefunden, welche der Summe der Einzelwirkungen entſprachen. Wenn 15 procentige Löſung von *CaCl* den Werth von 9,9 mm in der Stunde, eine 2 procentige Löſung von arabiſchem Gummi den Werth 1,2 cm zeigte, ſo ergab die Miſchung in derſelben Zeit 11,4.

Die osmotiſche Druckhöhe oder die Arbeit, welche beim Verluſt der osmotiſchen Spannung geleiſtet wird (ſ. meine Bot. Unterſ. Bd. I, S. 260 ff.), beſtimmte PFEFFER für 6 procentige Löſungen für drei Membranen in Centimetern Queckſilber.

	Pergamentpapier.	Thierblaſe.	Membran aus Cu_2FeCy_6.
Gummi arabicum	17,9	13,2	25,9
Flüſſiger Leim	21,3	15,4	23,7
Rohrzucker	29	14,5	287,7
Salpeter	20,4	8,9	700 ?

Die Druckhöhe iſt für dieſelbe Membran größer für ſolche Körper, welche diosmiren, wie für ſolche, welche die Membran nicht zu paſſiren vermögen. So erzeugen die Kryſtalloide Salpeter, Zucker (bezogen auf Leim und Gummi) einen höheren Druck wie die Colloide.

---

[1]) Iſt *k* die Salzmenge, welche in der Zeiteinheit die Flächeneinheit einer Membran paſſirt, während auf die Längeneinheit die Concentration um 1 ſinkt, ſo iſt die Salzmenge $s = k\,a\,\frac{e}{l}\,t$, hierin bedeutet *e* die Abnahme der Concentration auf die Strecke *l*, *a* die Fläche, *t* die Zeit. Die Temperatur muß conſtant ſein während der Verſuchsdauer.

Mit wachſender Concentration der Löſung wächſt der Druck. Für Gummi entſpricht der Concentration von 1 % die Druckhöhe von 53,5 cm, für 2 % 101, für 4 % 208, für 6 % 307 cm. Bei dem Zucker wurden für 1 % 7,1 cm, für 6 % 27,5 cm, für 18 % 120 cm beobachtet.

«Die Quotienten aus der Concentration in die Druckhöhe $\frac{MO}{c}$ und den Waſſereinſtrom fallen namentlich für Zucker, aber auch für Gummi nahezu übereinſtimmend aus, d. h. die Druckhöhe und der Waſſerſtrom wachſen in demſelben Verhältniſſe.»

G. Fortleitung des Wassers (der Lösung, welche aus dem Boden aufgenommen wird).

Das Studium der Fortbewegung des aus dem Boden eintretenden Waſſers unter dem Einfluß der Verdunſtung der oberirdiſchen Theile bietet allein einiges Schwierige bei den Bäumen, wo es ſich um Bahnen handelt, welche bis zu 100 m und mehr Länge zu verfolgen ſind. Die mechaniſche Erklärung dieſer Leitung ſchließt dann offenbar die Erklärung für denſelben Vorgang bei kleineren Gewächſen ein. So hat man ſich denn in der hiereinſchlägigen Literatur wenig den Kopf zerbrochen, wie die Leitung bei den Mooſen, Pilzen, Flechten, den niedern krautartigen Gewächſen u. ſ. f. zu erklären ſei, ſondern lediglich die außerordentliche Höhe erwachſener Bäume als eine Schwierigkeit in's Auge gefaßt, welche der Erklärung gegenüberſtehe. Man kann nun zeigen, daß die Möglichkeit conſtanter Waſſerſtröme, welche in ſehr hohen Bäumen gefordert iſt, durch Anwendung eines einzelnen phyſikaliſchen Principes nicht überſichtlich wird, wenn nicht alle uns bekannten Vorgänge der neben der Verdunſtung herlaufenden Lebenserſcheinungen mit in die Betrachtung hereingezogen werden.

1. Die Pflanzen wachsen wassergefüllt.

Bei allen perennirenden Pflanzen, in welchen längere Strombahnen gebildet werden, iſt zu beachten, daß dieſelben waſſergefüllt entſtehen, d. h. da wo Länge- und Dickezuwachs erfolgt — Proceſſe, welche bei dem Baume ſtetig oder periodiſch vor ſich gehen — befinden ſich Zellen, welche mit wäſſeriger Löſung oder mit Protoplasma angefüllt ſind.

a) Beſtimmung des Waſſergehaltes im Baume.

Mit Hilfe des Pressler'ſchen[1]) Zuwachsbohrers kann man aus jedem Niveau an einem erwachſenen Waldbaum kleine Parthieen des Holzes aus

[1]) Der Pressler'ſche Zuwachsbohrer iſt ein Bohrinſtrument, welches erlaubt, daß etwa bleiſtiftdicke Cylinderchen aus dem Stamm herausgenommen werden können (in der forſtlichen Technik allgemein bekannt).

der Querrichtung des Stammes herausheben und durch Wägung und Austrocknen in einem Chlorcalciumexſiccator den Waſſergehalt beſtimmen. Solche Bohrſchnitte können in einer Kanone, Fig. 402, ſo gepreßt werden, daß das flüſſige in den Hohlräumen capillar feſtgehaltene Waſſer ausfließt.

Um eine Vorſtellung von der Größe des Druckes zu erhalten, welchem das Waſſer in der Holzzelle Widerſtand leiſtet, wurden ähnliche Bohrſchnitte raſch gewogen, mit Seidenpapier umwickelt, in die Kanone gebracht und mit Hilfe eines Gewichtes gepreßt, die Tangentialfläche des Bohrſchnittes beträgt 28,3 qmm. Das Tiſchchen *a a'* nimmt in dem hohlen Fuß bei *a* eine Röhre von Eiſenblech auf *b*, welche daſſelbe Caliber hat wie der Pressler'ſche Zuwachsbohrer. Der Bohrſchnitt in Seidenpapier gewickelt ſteckt in dieſer Röhre. Auf ihm ruht ein eiſerner Bolzen, auf welchem die Säule *e* des mit Gewichten belaſteten Tiſchchens *a'* laſtet.

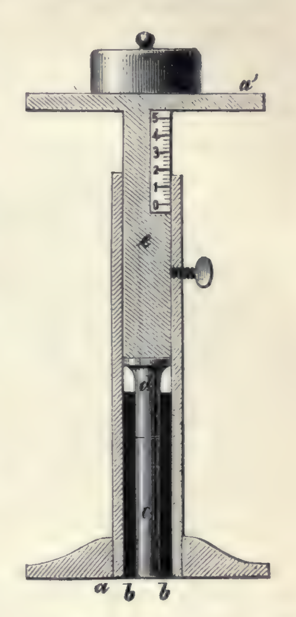


Fig. 402. Das Tiſchchen, welches zum Auspreſſen des Waſſers aus dem Holze benutzt wurde. Die Metallhülſe *b*, welche den Bohrſchnitt *c* aufnimmt, kann von dem Fuß aus in das Tiſchchen eingeſchoben werden.

Aus dieſen Verſuchen erhellt, daß bei Anwendung eines Druckes von 10 kg aus 12,36 g Holz nur 0,095 g Waſſer gepreßt werden können.

Es wurden in dieſen Verſuchen aber noch Druckkräfte angewandt, wie ſie im Schraubſtock zum Ausdruck kommen. Das Reſultat dieſer Meſſungen iſt: «aus der Gewichtseinheit naſſen Holzes können im Maximum 0,4916 Gewichtstheile tropfbaren Waſſers gepreßt werden».

Stammregion.		Aus 1 Gewichtstheil naſſen Holzes können gepreßt werden Gewichtstheile Waſſer.	Auf 1 Gewichtstheil trockenen Holzes kommen Gewichtstheile Waſſer.
Reg. I 60 cm über dem Boden Radius 125 cm	außen	0,4024	1,522
	Mitte	0,3460	1,333
	innen	0,04210	0,338
Reg. IV 6,8 m über dem Boden Radius 10,1 cm	außen	0,4916	1,609
	Mitte	0,1852	0,7144
	innen	0,02829	0,2898
Reg. XI 19,4 m über dem Boden Radius 5,5 cm	außen	0,4810	1,918
	Mitte	0,4434	1,465
	innen	0,1967	0,6486

Ein Blick auf die Figur 403 zeigt uns, wie viel Waſſer aus dem Holze unter Anwendung einer ungeheuren Druckkraſt gepreßt werden kann gegenüber der Geſammtmenge des Waſſers, welche in dem Holze imbibirt iſt.

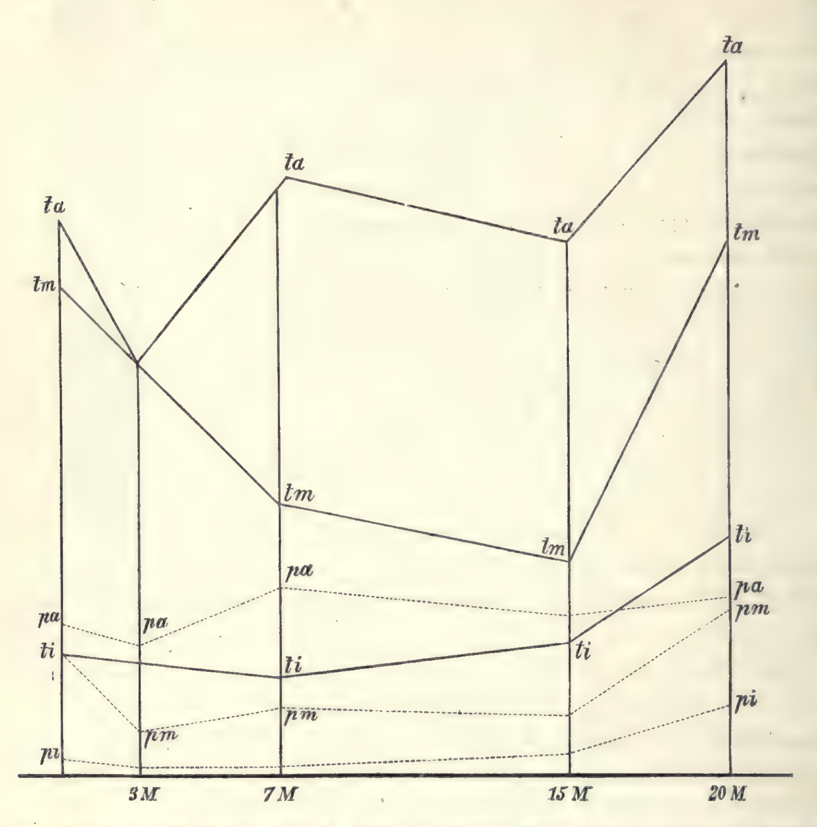


Fig. 403. Dieſe Figur ſtellt die Vertheilung des Waſſers dar in einem Baume (Fichte), welcher im Winter gefällt wurde. Die Abſciſſe ſtellt den Ort in Meternhöhe über dem Boden dar, in welchem die Beſtimmungen des Waſſergehaltes für die Volumeinheit Holz ausgeführt wurden, 5 ſolcher Beſtimmungen in *0 M, 3, 7, 15, 20 M* Höhe wurden ausgeführt. In jedem dieſer Niveau's wurden Bohrſchnitte bis zum Mark geführt, dieſe in drei gleiche Theile getheilt, *a* der äußere, *m* der mittlere, *i* der innere. Für jeden dieſer Theile wurden zwei Beſtimmungen gemacht: jeder Theil wurde in dem Tiſchchen und zuletzt im Schraubſtock ausgepreßt, die Waſſermengen ſind in *pa, pm, pi* dargeſtellt; jeder der Schnitte wurde im Exſiccator getrocknet und die gefundenen Waſſermengen in *ta, ti, tm* dargeſtellt.

Die Abſciſſe der Figur 403 iſt in Meter (Höhe des Baumes) eingetheilt. Die Ordinaten *p a, p m, p i* bedeuten die Waſſermengen in Zehntels-Gewichtstheilen des Bohrſchnittes, welche durch Druck in dem Schraubenſtock herausgepreßt werden können, und zwar *p a* in der äußeren, *p m* in der mittleren, *p i* in der inneren Schale.

Die Abſciſſen *t a, t m, t t* bedeuten die Geſammtwaſſermengen, wie ſie durch Austrocknen im Exſiccator beſtimmt werden können, in Zehntelsge-

wichtstheilen derselben Bohrschnitte, *ta* in der äußeren, *tm* in der mittleren, *ti* in der inneren Schale.

b) Bestimmung des Stärkestromes in dem Holz des Baumes.

Es ist äußerst schwer, direct zu bestimmen, wie weit die wassergefüllte Strombahn in transversaler Richtung in den Stamm hinein reicht. Beachtet man aber, daß die transitorische Stärke[1]) alljährlich wie eine große Welle in dem Holze fluthet und ebbet, daß diese Bewegung ohne die Gegenwart von tropfbarem Wasser nicht gut denkbar ist, so erhält man in der Ausdehnung der Stärkebahn in transversaler Richtung zum Wenigsten die Minimalgröße derjenigen Bahn, welche einmal im Jahr mit Wasser gefüllt sein mußte. Es wurden daher Messungen angestellt von Mitte bis Ende Februar über die Ausdehnung der Stärkebahnen, indem durch die Bohrstücke von Fichte und Eiche Radialschnitte mit Jod behandelt wurden.

Aus der Tabelle erhellt die Zunahme osmotischer Spannung vom Stamm nach dem Zweig. Schon bei dem 22jährigen Aste erstreckt sich die Spannung über den ganzen Querschnitt, sie bleibt nach den jüngeren in diesem Verhältniß, sie sinkt nach dem älteren bis $^{27}/_{100}$ der Jahreslagen für die Eiche.

Bei einer 100jährigen Eiche geht die transitorische Stärke noch bis zum 27. Jahrring, von außen gezählt.

Holzart.	Stärke des Zweiges oder Stammes. mm	Zahl der Jahresringe		Bemerkungen.
		des ganzen Stammstücks.	mit Stärke gefüllt.	
Eiche I	5	1	1	Mark gefüllt.
» II	8	4	4	» »
» III	12	6	6	» »
» IV	27	12	12	» »
» V	41	22	22	» »
» VI a	90	33	13	Obere Seite des Astes mit breiten Jahrringen.
» VI b	90	33	16	Untere Seite des Astes mit schmalen Jahrringen.
» VII a	420	100	12	Stamm.
Fichte I	65	8	8	Mark leer.
» II	140	15	9	» »
» III	175	19	8	» »
» IV	245	28	8	» »
» V	305	36	12/13	» »

[1]) s. unten Translocation.

Die Stärke dringt noch bei 12 Jahrringen bis zum innerften vor, bei einem 33jährigen Afte aber felbft noch bis zum 16. von außen gerechnet.

2. **Ueber die ganze Strombahn befinden sich wassergefüllte Gewebe vertheilt**[1]).

Der höchfte Waffergehalt findet fich gerade zu der Zeit der vollen Belaubung in den Orten, welche am weiteften von dem wafferaufnehmenden Wurzelfyftem entfernt find, nämlich in den jungen, in dem laufenden Jahre entwickelten Zweigen.

Es intereffirte mich, zu wiffen, wie groß der Waffergehalt dünner, nur Splint führender Zweige zu der Zeit fei, in welcher die Blätter das Maximum der Verdunftung zeigen. Zu dem Behufe wurde das Gewicht naß und trocken, fowie das Volum naß und der Querfchnitt naß beftimmt. Das Austrocknen gefchah bei gewöhnlicher Temperatur im Chlorcalcium-Exficcator.

Die Zweige wurden gefammelt am 3. Auguft; zu diefer Zeit war die Tagestemperatur, 23^0 C. im Mittel aus Mittag- und Abendftunden für 6 Tage.

	Gewicht naß.	Gewicht trocken.	% Waffer.
Hainbuche	2,16	1,280	40,74
Birke	1,74	0,795	54,44
Buche	5,26	3,017	42,64
Acer pfeudopl.	1,65	1,020	38,18
Efche	2,37	1,440	39,33
Kiefer	2,40	1,127	53,04
Erle	2,96	1,530	48,31
Eiche	3,59	2,075	42,47
Pappel	1,92	1,145	58,02
Weide	3,15	1,410	55,24

Die Urfache aller Bewegung für Waffer an dem ganzen Syftem des Baumes läßt fich zurückführen auf die Verdunftung in Zellenketten, welche mit Waffer, aber unter verfchiedenem Druck gefüllt, fich von dem Punkte + bis zu dem Punkte —, Fig. 404, in der Längsrichtung — von dem Punkte — nach dem Punkte + in der Querrichtung ausdehnen.

3. **Holzconvolute von Stamm und Wurzel.**

Zum Verftändniß der hier weiter zu behandelnden Phänomene muß Bezug genommen werden auf die grobe Anatomie (f. § 32, S. 302 ff. oben). Es

[1]) Dr. Th. Hartig, Verdunftung der Zweigfpitzen im unbelaubten Zuftande. 261. Bot. Ztg. 63.

möge die Fig. 405 der schematische Durchschnitt durch einen Baum sein, *N N* das Niveau des Bodens, *A N* der verdunstende Stamm, *W N* die wasseraufnehmende Wurzel, so erhellt aus dem Früheren, daß die absolut mit Wasser oder Flüssigkeit gefüllte Schicht die im laufenden Jahre entstehende Zuwachsschicht ist. Dieselbe ist außerdem (nach § 32 E) die einzige, welche bis zu dem Niveau *f g* am Stamm, resp. den Aesten und Zweigen reicht, welche das ganze System bis zu der Blattregion überzieht. Alle früheren Jahreslagen reichen direct nicht so weit.

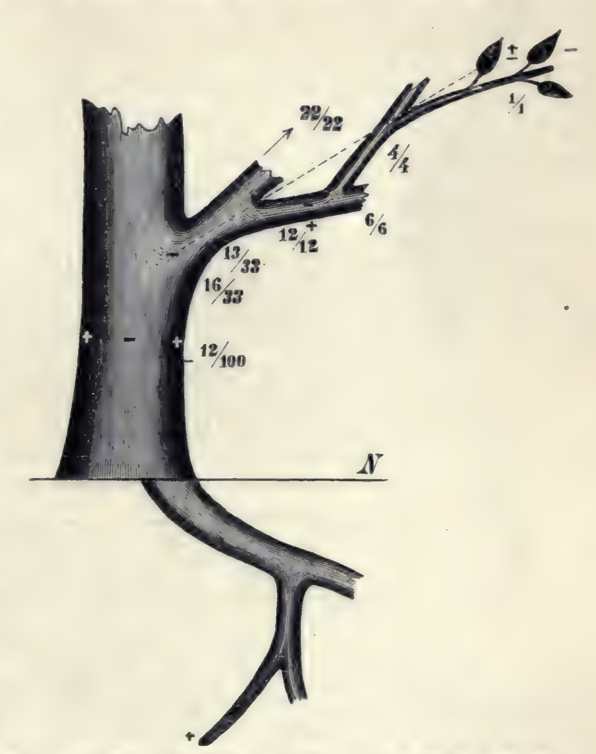


Fig. 404. Schema der Vertheilung der Spannung für Wasser in dem Baume. Die wasserreicheren Orte sind dunkel und mit +, die wasserarmen sind hell und mit – bezeichnet. Der Nenner in den beigefügten Brüchen bedeutet die Anzahl der Jahrringe in dem betreffenden Niveau, der Zähler die Anzahl derselben, welche mit Stärkemehl gefüllt sind.

4. Filtrationserscheinungen.

Wir verstehen hierunter den Durchgang tropfbaren Wassers oder einer Lösung, welche wenige pro mille fester Substanz (wenig Zucker, Salpetersäure, Kalk u. a. m.) enthalten, aus den lebenden protoplasmahaltigen Zellen der leitenden Gewebe, nach der Atmosphäre (in seltenen Fällen) einerseits, nach dem Holzkörper der höheren Pflanzen andererseits. Solche Filtration muß immer herrschen, soll überhaupt die Fortleitung von Wasser den Verlust durch Verdunstung decken.

I. Periode des Blutens[1]).

Unsere Waldbäume (die Coniferen ausgenommen), die Rebe und viele strauchartige Gewächse bluten aus künstlich angebrachten Wunden

[1]) Hales, *Vegetable statics.* — Du Hamel, *Physiologie des arbres.* — Hofmeister, Handbuch der physiolog. Botanik. Bd. IV. S. 198. — H. Hoffmann, Ueber die Richtung der Luftströmung in den Pflanzen. 377. Bot. Ztg. 48. Ueber die Organe der Saftströmung in den Pflanzen. 17. 33. Ueber die Saftwege in den Pflanzen. 793. 809. 42. 57. 76. Bot.

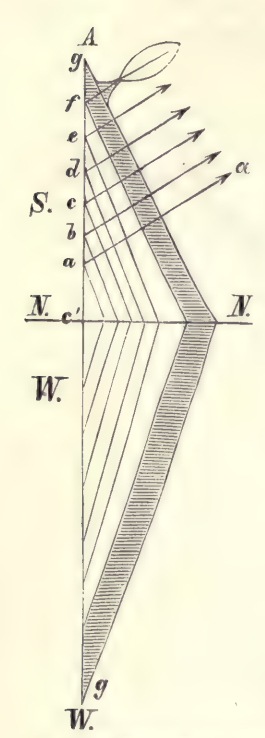


Fig. 405. Schema des Holzzuwachſes. *a b c d* die ineinandergeſchachtelten Kegel der aufeinanderfolgenden Jahreslagen für Stamm und Wurzel, die Pfeile bedeuten die Zweige und Blätter.

zu einer beſtimmten Zeit vor dem Knoſpenaufbruch. Viele einjährige Pflanzen, welche raſch verdunſten, zeigen denſelben Saftausfluß aus dem Wurzelſtumpf, nachdem die belaubten Stämme abgeſchnitten ſind.

Ohne die Verwundung würde der Erguß nach außen weder bei den Bäumen noch bei den letzteren Pflanzen erfolgen.

Die Druckkraft hat ihren Sitz in dem Syſtem der Wurzeln.

Die Größe dieſes Druckes wird gemeſſen:

a) indem man für eine gegebene Pflanze die Ausflußfunction, d. h. die Geſammtmenge des Exſudates als Function der Zeit beſtimmt;

b) indem man die Ausflußgeſchwindigkeit, d. h. die Flüſſigkeitsmenge beſtimmt, welche im kleinſten Zeitraum (Stunde, reſp. Minute) austritt, und dieſe als Function der Zeit darſtellt;

c) indem man auf den Stumpf ein Manometer befeſtigt, in welchem das Exſudat eine Queckſilberſäule hebt, Fig. 406 *A*.

Auch wurde ein Manometer von der Form Fig. 406 *B* angewandt. Hier drückt der bei *c* austretende Saft auf Waſſer, welches ſich in dem U-Rohr *c b* befindet, und comprimirt das Luftvolum *b a*. Aus dem Volum *v* und der herrſchenden Temperatur *t* wird der Druck berechnet[1]).

In dem Verſuch, Fig. 406 *A*, ging von *b*

Ztg. 50. — Dr. Th. Hartig, Freiwilliges Bluten der Hainbuche. Bot. Ztg. 53. S. 478. Ueber wäſſerige Ausſcheidung aus den Pflanzenblättern. Bot. Ztg. 55. S. 911. Ueber die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen. 269. 77. Bot. Ztg. 62 u. 63. S. 73 ff. — Joseph Böhm, Ueber die Urſache des Saftſteigens in der Pflanze. Sep.-Abdr. a. d. Sitzgsber. d. k. Akad. d. Wiſſ. 1863. Wird das Saftſteigen in der Pflanze durch Diffuſion, Capillarität oder durch Luftdruck bewirkt? Sep.-Abdr. a. d. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiſſenſch. 1864. — Jul. Schrœder, Stud. chem. Unterſ. der chem. Conſtitution des Frühjahrſaftes der Birke. Dorpat. Heinr. Laakmann. 1865. Beitrag zur Kenntniß der Frühjahrsperiode des Ahorn (Acer platanoides). S. 261. Pringsh. Jahrb. Bd. V. 1866—67. — Dr. Th. Hartig, Ueber Saftbewegung in den Holzpflanzen. 17. Bot. Ztg. 68. — J. Baranetzky, Eine Mittheilung über die Periodicität des Blutens bei den krautartigen Pflanzen und deren Urſachen. 65. Bot. Ztg. 73.

[1]) Nach der Formel für das Gay-Lussac-Mariotte'ſche Geſetz berechnet ſich der Druck: $P_1 = \frac{P\,V\,(1 - \alpha\,t)}{V_1\,(1 - \alpha\,t^1)}$, ſ. Botan. Unterſ. Bd. I. S. 276.

ab in dem rechten Schenkel des Manometers eine continuirliche Wafferfäule in einem Bleirohr nach dem Glascylinder *C*, aus welchem ein zweites Rohr nach dem Stumpf eines foeben abgefchnittenen Aftes *c* der erften Ordnung hinführt.

Das ganze Syftem *C c C b* zur Rechten wurde nun mit Waffer gefüllt. Es ftellte fich hiebei heraus, daß wenn unten pofitiver Druck durch Saftausfluß herrfcht, oben gleichwohl Saugen eintreten kann, wiewohl der Druck unten dann hinreichen würde, das höhere Niveau zu fpeifen, wenn er wie der Druck in einer Wafferleitung wirkte.

a) Größe des Druckes bei niedern Krautpflanzen.

Die Wafferfäule, welche den anbei verzeichneten Queckfilberdrucken entfpricht, fteht in gar keiner Beziehung zur Höhe der Pflanze.

	Druck auf den Stumpf. mm Queckfilber.
Phafeolus nanus	14
» multiflor.	87
Atriplex	65
Urtica	247
Vitis	731

Auch das Volum des ausgefchiedenen Saftes, welches bei den verfchiedenften Pflanzen gemeffen wurde, fteht in keiner gefetzmäßigen Beziehung zu

	Zeit, Stunden.	Volum der Wurzel.	cc des Exfudates.
Urtica	90	0,0135	3,025
Phafeolus	49	2,300	3,63
Braffica	76	1,100	1,100

dem Volum des Wurzelkörpers oder des beblätterten Stammes.

b) Der Druck bei wechfelnder Temperatur, Thränen der Gräfer und Aroideen.

Bei einer großen Anzahl von Pflanzen, welche niederer wie unfere Waldbäume find, fo bei den Gräfern in der erften Keimphafe, bei Colocafia und anderen Aroideen, bei Vitis und Juftitien beobachtet man, daß bei plötzlicher Erniedrigung der Temperatur, etwa bei Befchattung nach intenfiver Beftrahlung, an der Blattfpitze ein Waffertropfen abgefchieden wird,

welcher, wenn er entfernt wird oder abtropft, ſich erneuert. Es kommt hier zur Abſcheidung derjenigen Maſſe tropfbaren Waſſers, welche vorher bei ſtärkerer Strahlung oder höherer Temperatur verdunſtete.

c) Größe des Druckes bei dem Waldbaum, der Rebe[1]).

Die Drucke, welche auf Wurzelſtümpfen von Juſtitien, Reben, Waldbäumen (Birke, Buche, Hainbuche) beobachtet wurden, überſteigen jedenfalls nicht den Druck einer 1500 mm hohen Queckſilberſäule.

d) Periode im Druck und der Ausflußgeſchwindigkeit[2]).

Die Ausflußfunction bei erwachſenen Bäumen iſt ebenfalls eine periodiſche Function der Zeit. Die Blutezeit beginnt im Allgemeinen vor dem Knoſpenaufbruch und dauert bei der Birke, Buche, Hainbuche, Rebe drei bis vier Wochen im Maximum, ſie endet faſt inſtantan mit dem Knoſpenaufbruch bei der Birke, Buche und Hainbuche und dauert bei der Rebe nach St. Hales' Beobachtungen noch einige Zeit während der Blattentfaltung.

Die Ausflußgeſchwindigkeit iſt periodiſch und folgt nach genaueren Unterſuchungen der Temperatur, oder es ſinkt dieſelbe doch ſo, daß ihre Curve als von der Temperatur abhängig erſcheint.

e) Theorie der Erſcheinung.

Wenn hier lediglich die Erklärung des Phänomens des Blutens als Aufgabe geſtellt, und abgeſehen werden ſoll von der Bedeutung dieſer Erſcheinung im Haushalte der Pflanze, ſo hat man in erſter Linie zu beachten[3]), daß der Druck, welcher das Waſſer in den Stamm hebt,

---

[1]) Es muß dringend darauf aufmerkſam gemacht werden, daß bei dem urſprünglich von Hales, ſpäter von Hofmeister angewandten Queckſilbermanometer die Schwankungen des oberen Queckſilberſpiegels in Folge der Temperaturſchwankung gar keine Bedeutung beſitzen, wenn nicht eine Correction für die Contraction des Queckſilbers eingeführt wurde. Dieß geſchah, ſo viel ich weiß, nicht.

Druck an einer Juſtitienpflanze.

Zeit.	Boden-temperatur.	Luft-temperatur.	Queckſilber-ſpiegel.
6 Uhr Nm.	22	25,8	1030
7 « früh.	21,4	23,8	1023
3 « Nm.	23,4	26,2	1054

[2]) Poiseuille's Formel bei conſtantem Röhrendurchmeſſer und Druck iſt: $Q = 1836{,}724\,(1 + 0{,}0336\,t + 0{,}0002209936\,t^2)$. — Dr. Th. Hartig, Ueber Abſcheidung der Gaſe aus lufthaltigen Flüſſigkeiten beim Eindringen letzterer in capillare Räume. 301. Bot. Ztg. 63.

[3]) Mindeſtens für den Zeitraum von mehreren Stunden und bei conſtanter Temperatur während der Beobachtungsdauer.

von dem Wurzelkörper ausgeht, und daß der Stamm so gut wie keinen directen Einfluß auf das Heben des Exsudates ausübt.

Die leitenden Bahnen im Wurzelstock aber, die Gefäße und Holzröhren, sind ihrer physikalischen Bedeutung und ihrer histologischen Beschaffenheit nach als gleichwerthig mit denen des Stammes anzusehen. Diese aber sind so beschaffen: die von außen nach innen belegenen Convolute, Pfeil *b'''*, *b''* u. s. f., Fig. 408, sind verschieden in ihrem Wassergehalte, so daß die inneren wasserärmer, die äußeren wasserreicher sind. In der großen ganzen Ausdehnung der Strombahn finden sich zahlreiche Röhrenstücke, in welchen Luftblasen von ganz dünnen Wasserhüllen umgeben sind (Fig. 407). In der Richtung des Pfeiles herrscht für Wasser im Holze gleichwohl Continuität für die Säulen tropfbaren Wassers, sie fließen aber gewissermaßen um die Lufträume *v*, Fig. 407, herum. Bis zu dem obersten Niveau des Bodens muß ein solches System von Luft- und Wasser-



Fig. 406. Die Vorrichtung *A* besteht aus einem Glasrohr *e b*, welches bei *a* in ein Bohrloch eingelassen, bis *e b* mit Queckfilber gefüllt ist; von dem rechten Schenkel geht ein wassergefülltes Bleirohr nach dem wassergefüllten Behälter *C*. Bei *v* dicht neben *a* ist ein zweites Bohrloch mit einem Ventil, welches beliebig geöffnet und geschlossen werden kann. Bei *B* ist der Baum abgeschnitten, das Manometer *c a b* wird, bis *b* wassergefüllt, bei *c* mit Pergamentpapier zugebunden, auf dem Stumpf mit Hilfe eines Kautschukschlauches befestigt, sodann wird durch eine Drehung das Pergamentpapier in der Fläche des Stumpfes zerrissen, um die Verbindung der Wunde mit der Sperrflüssigkeit herzustellen.

fäulen mit Ausfchluß der äußerften Schale im Holz, wo die Wafferfäulen continuirlich find, vorhanden fein. Die folgenden Veränderungen in Folge ganz kleiner Temperaturfchwankungen müffen eintreten:

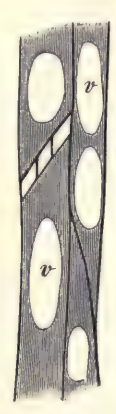


FIG. 407. Luftblafen *v v* in den Holzzellen (im Winter), welche in Oel gelegt wurden.

1⁰ wirkt das Syftem wie ein Thermometer, welches mit capillaren Waffer- und Luftfäulen gefüllt ift. Das Syftem zahllofer folcher muß fich merklich zufammenziehen oder ausdehnen, wenn die Temperatur fteigt oder finkt;

2⁰ muß die Röhrenweite merklich fchwanken, alfo die Reibung mit der Temperatur wachfen und finken, weil die ganze Strombahn fich mit der Temperatur zufammenzieht oder ausdehnt;

3⁰ fpielt die Reibung der Waffertheilchen unter fich und an der Wand der Röhren nach den POISEUILLE'fchen Verfuchen eine große Rolle.

Herrfcht nun ein beftimmter Druck in dem unterirdifchen Syftem bei gegebener Bodentemperatur, fo herrfcht auch eine beftimmte conftante Ausflußgefchwindigkeit, welche fofort verändert wird, wenn die Temperatur merklich fchwankt.

Wird die Ausflußröhre an dem Stamm höher hinauf verlegt, Fig. 406, fo wird diefer Ausfchlag noch deutlicher, oft genügt das Vorüberziehen des Schattens einer kleinen Wolke über dem vorher von der Aprilfonne fchwach beftrahlten Baum, um die Ausflußgefchwindigkeit inftantan merklich zu verkleinern.

Wir kommen zum Zweiten zu der eigentlichen Betriebskraft in dem Wurzelftumpfe (ift zu fagen dem Druck, welcher von dem unterirdifchen Syftem auf den Stumpf ausgeübt wird).

Im Temperaturwechfel ift ein Moment für die Tagesperiode der Ausflußgefchwindigkeit gefunden. Sehen wir, wie es fich mit dem Druck verhält: das Anbringen des Manometers am Stumpf bewirkt, daß fich eine merkliche Menge der Flüffigkeit ftaut, immerhin nicht alle die Flüffigkeit, welche fonft abfließen würde. Die Drucke wachfen mit der Temperatur durch die Expanfion von Gafen und Flüffigkeit, welch' erftere fich felbft in dem Exfudat in dem Manometer ausfcheiden. Der Druck, welcher am Manometer abgelefen wird, ift daher eine periodifche Function der Temperatur, und er fagt nichts aus über die Periode in der Intenfität der osmotifchen Betriebskraft. Ueber diefe kann nur feftgeftellt werden, und dieß gilt nur für wenige Verfuchspflanzen und durchaus nicht für alle Bäume, daß fie mit dem Wachfen der Temperatur im Frühling merklich wird, daß in dem künftlichen, das Leben der Bäume wefentlich ftörenden Verfuch die Ausflußmenge von Tag zu Tag wächft, ein Maximum erreicht

und faſt inſtantan mit dem Knoſpenaufbruch Null wird. Der Wurzelkörper ſetzt eine begrenzte, beſtimmte Menge von Zucker hiebei um, und man kann über dieſen Umſatz Verſuche anſtellen, welche analog den Erſcheinungen am Wurzelſtumpf verlaufen.

Beſtimmung der Arbeit bei dem osmotiſchen Austauſch von Waſſer und Kochſalz und Waſſer und Zucker durch Schweinsblaſe und Pergamentpapier.

In die Glaszelle *B*, Fig. 409, welche luftdicht in dem Tubulus *t* der zweiten Glaszelle *C* eingeſchliffen iſt, wird ein Gemiſch von Zucker

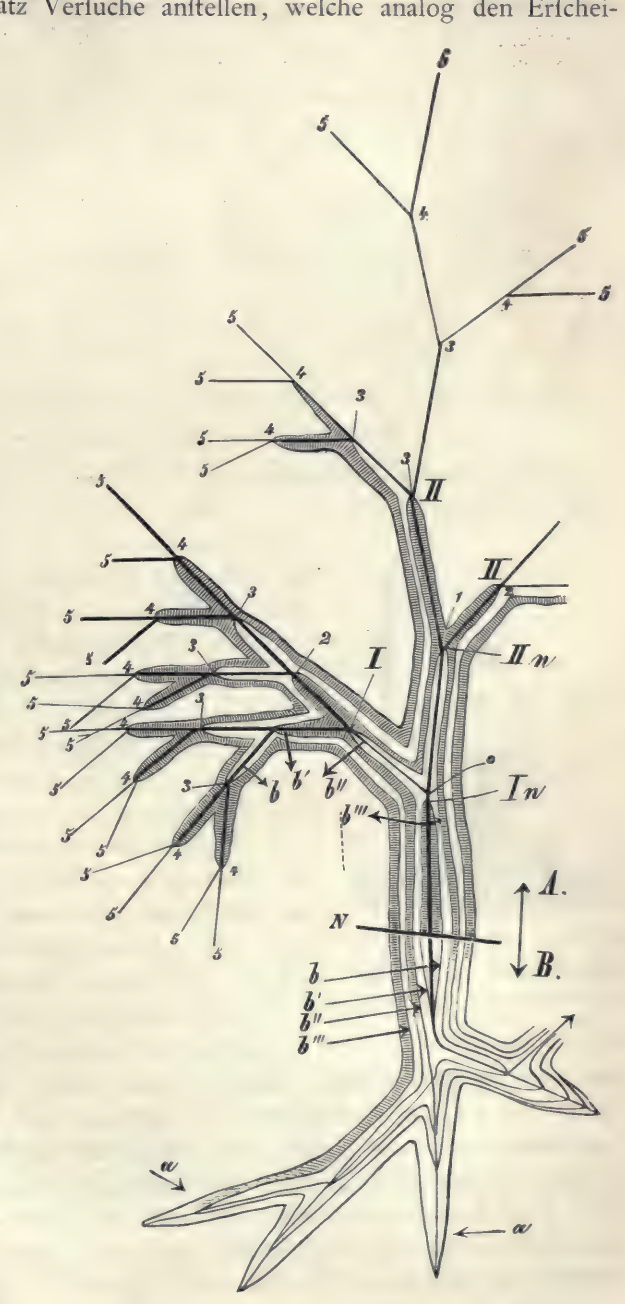


Fig. 408. Dieſe Figur, wiewohl abenteuerlich in ihrer äußeren Form, reicht in ihrer Gliederung doch gerade aus, um dem Intereſſenten den im Text geſchilderten Bewegungsvorgang klar zu legen. Die äußerſte Schale, links ſchraffirt, überzieht das ganze Syſtem, *I*, *II*, *3*, *4*, *5* die Triebe von fünf Jahren, links iſt das Syſtem bis zum 4. Jahre ausgeführt. Die letzten mit einfachem Contour dargeſtellten Zweiglein ſollen die im laufenden Jahre beblätterten ſein, die ſechſte von jetzt ab zu bildende Zuwachsſchale würde alsdann alle vorhandenen ober- und unterirdiſchen Zweige umhüllen. Laſſen wir ein Waſſertheilchen an der Wurzel eintreten, ſo iſt der kürzeſte Weg nach den beblätterten Zweigen die periphere Schale: nur dieſe führt bis zum Blattſtiel, jede tiefere endet in einem der Abſchnitte, wie *In* nach *IIn*, deſto tiefer unter der Verbrauchsſtätte, je älter ſie iſt.

und Traganthgummi gegeben. Das Ende *b* der Zelle ift mit Pergamentpapier, das Ende *a* mit Schweinsblafe zugebunden. Die Zelle *C* ift mit Waffer bis zu dem Queckfilberfpiegel *Q* angefüllt; durch den mit einem Kautfchukftopfen verfchließbaren Tubulus *t'* kann die etwa aus den Löfungen entbundene Luft in *C* entlaffen werden. Nach neun Tagen hatte der Spiegel *Q* die Höhe von 375 mm erreicht. Nunmehr wurden die Flüffigkeiten in *A* und *C* eingedampft und die Rückftände gewogen.

Die Zelle *C* enthält 4,505 g,
« « *A* « 7,060 « fefter Subftanz.
Fläche in $a = 16{,}83$ qcm
« « $b = 10{,}76$ « .

Parallelverfuch für die äußere Arbeit aus dem Verluft der osmotifchen Spannung.

Zwei gleiche Osmometer, wie fie die Fig. 406 darftellt, werden gleichzeitig befchickt, die Zelle *B* in dem einen mit Zuckerlöfung (ein Theil Zucker, ein Theil Waffer), diefelbe Zelle *B* in dem anderen mit gefättigter Kochfalzlöfung gefüllt; beide Oeffnungen *a* und *b* find mit Blafe verfchloffen. Der äußerfte Druck, welcher erzielt wurde, betrug für Kochfalz 229 mm, für Zucker 351,5 mm Queckfilber. Diefe Manometerftände wurden nach 28 Stunden erreicht, von diefer Zeit ab fanken die Manometer langfam in dem Maße, wie die osmotifche Spannung abnahm.

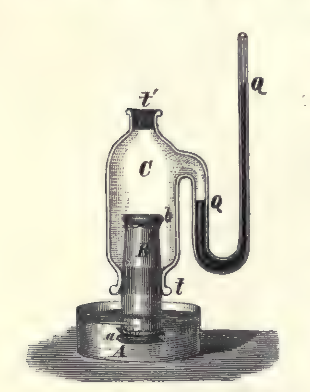


Fig. 409. Osmometer. *A* Waffergefäß, *B* beiderfeits mit Blafe verbundene Glaszelle, *C* zweite Zelle mit einem queckfilbergefüllten Steigrohr *Q*.

Endlich aber beachten wir, daß die Periode des Blutens 3—4 Wochen in Anfpruch nimmt, daß der Baumkörper, wenn er nicht abgefchnitten war, auf die osmotifchen Proceffe am Wurzelkörper in fo langer Zeit doch zurückwirkt.

Wir hatten bei diefer Beobachtung im Sinne, zu zeigen, daß aus dem Stumpfe eines zu Beginn der Periode (des Blutens) abgefchnittenen Stammes während der ganzen Dauer des Ausfluffes weniger Waffer gehoben und abgefchieden wird, wie von folchen Bäumen, welche außer einem kleinen Bohrloch intact erhalten werden. Beide Fälle kommen felbftredend im normalen Leben nicht vor. Man muß fich aber vorftellen, daß während der 3—4 Wochen dauernden osmotifchen Bewegung des Waffers nach dem oberirdifchen Auszweigungsfyftem ein abfteigender Strom oder allgemeiner eine Vertheilung fefter,

aber löslicher Körper von den oberen Theilen nach dem Wurzelſyſtem herrſchen muß. Dieß kann eben nur erwieſen werden, indem wir die Ausflußmenge des Stumpfes mit derjenigen aus dem Bohrloche vergleichen.

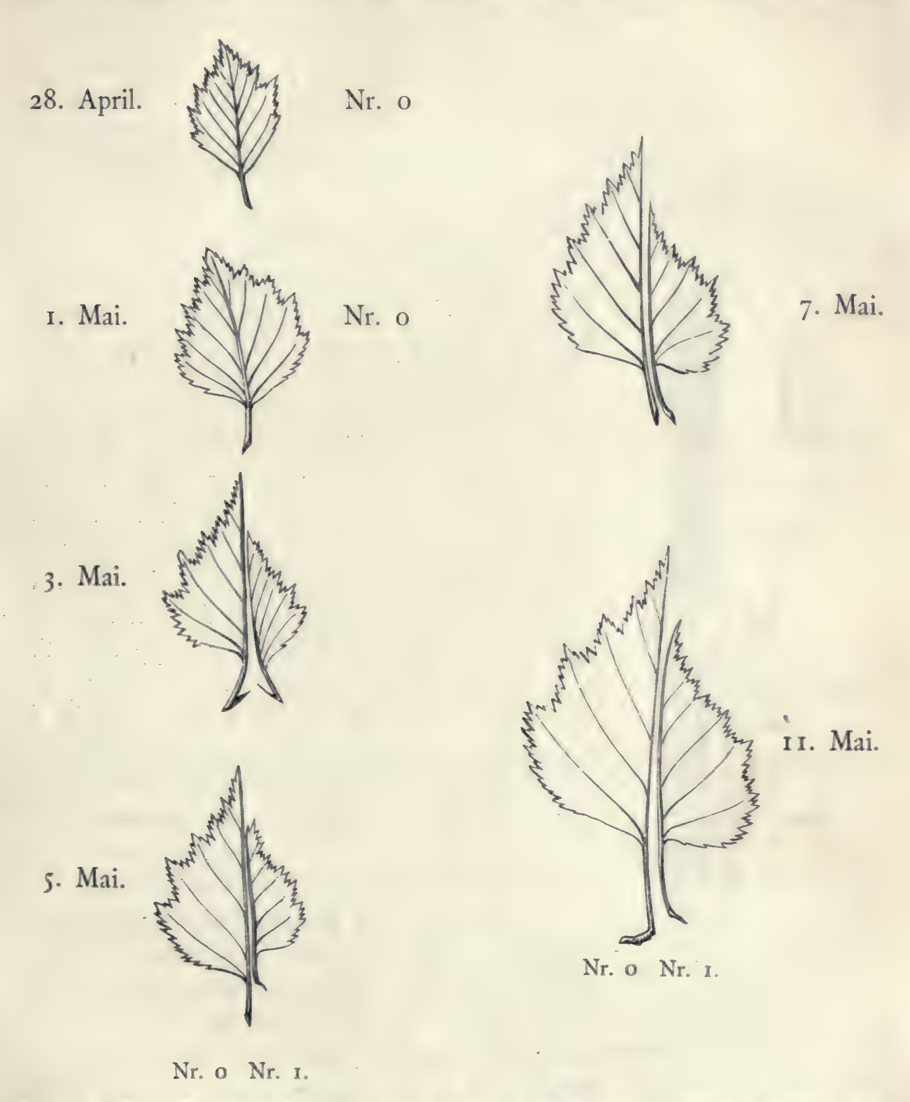


Fig. 410. Zuſammenſtellung der Blattgrößen zweier Birken, Nr. o ein Baum, welcher unverletzt blieb. Nr. 1 derſelbe, welcher angebohrt war und drei Wochen lang blutete. Der erſtere entfaltete die Blätter am 28. April, der letztere erſt am 3. Mai. Von dieſem Datum ab ſind die Blatthälften beider zuſammengeſtellt.

Wir ſtellen das Volum, die Dauer und die Ausflußmenge über alle Verſuche hier zuſammen.

Baum.	Volum. cbm	Dauer.	Geſammtausflußmenge. cbm
Nr. 1	0,07	14 Tage (12.—26. April)	0,013555
Nr. 2	0,04	9 « (12.—21. «)	0,005775
Nr. 3	0,08	8 « (13.—21. «)	0,001833
Nr. 4	0,04	4 « (16.—20. «)	0,000188
Nr. 5	0,07	10 « (15.—25. «)	0,003708
Nr. 6	Volum kleiner wie 0,04 cbm	16 « (17. April—3. Mai)	0,001842
Nr. 7			0,000966
Nr. 8			0,000706
Nr. 9		36 « (5. April—11. Mai)	0,001322

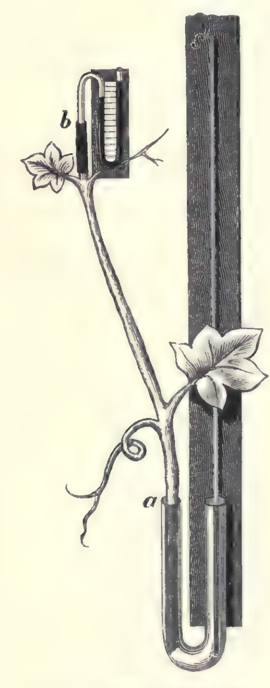


Fig. 411. Eine Weinrebe mit mehreren Blättern iſt am oberen Ende abgeſchnitten und ſteht mit einem Manometer in Verbindung. Der untere Abſchnitt bei *a* ſteht ebenfalls mit Waſſer in dem U-Rohr in Verbindung, welches unter Queckſilberdruck durch den Sproß gepreßt werden kann.

Höchſtens $^1/_5$ des oberirdiſchen Volumens ſehen wir an Flüſſigkeit während der ganzen Periode ausgeſchieden. Man erkennt ſomit, daß rückwirkend der osmotiſche Austauſch vom Stamm nach der Wurzel den Strom verſtärkt. Der Ausfluß ſchwächt den Baum in ſeiner Entwickelung; die Fig. 410 zeigt eine Zuſammenſtellung der Blätter von dem Momente der Knoſpenentfaltung für zwei Bäume über ſechs Daten. Der eine Baum, Nr. 0, blieb unverletzt, der andere, Nr. 1, verlor nach der Verſuchsreihe Nr. 1 innerhalb 14 Tagen 0,013555 cbm Saft auf ein Volum des Holzes von 0,07 cbm. Für die erſten beiden Daten bis zum 3. Mai iſt die Knoſpe des erſchöpften Baumes noch geſchloſſen, von da ab ſind die Blatthälften beider Bäume nach photographiſchen Abklatſchen zuſammengeſtellt.

II. Periode der Verdunſtung[1]).

Am Ende der Blutezeit bei den periodiſch beblätterten Pflanzen (alle Nadelhölzer, vielleicht alle Immergrünen, beſitzen überhaupt keine Blutezeit) beginnt eigentlich erſt der Zeitraum, wo merkliche Waſſermengen durch die verdunſtenden Blätter durch den Stamm bewegt werden müſſen. Im Maximum der Verdunſtung fließen nun dieſe

[1]) H. Cotta, Naturbeobachtungen. 1806. Weimar. Hoffmann's Buchhandlung. — Dr. Th. Hartig, Ueber Auffaugen gefärbter Flüſſigkeit durch Stecklinge. Bot. Ztg. 53. S. 617. — J. Baranetzky, Ueber den Einfluß einiger Bedingungen auf die Transpiration der Pflanzen. Bot. Ztg. — Dr. Th. Hartig, Ueber den Einfluß der Verdunſtung auf Hebung

Mengen ſo, daß beim Anſchneiden ein Erguß nach außen nicht ſtattfindet. Machen wir nun für die Bedeutung des Wurzeldruckes die weiteſten Zugeſtändniſſe, ſo muß für die Discuſſion der Phänomene der Waſſerleitung in Pflanzen zugeſtanden werden, daß in allen den ungeheueren Waldarealen der Fichten, Kiefern, aller unſerer Laubbäume, in den rieſenhaften Grasebenen der Pampas, in faſt allen unſeren Culturflächen, von der Pflanze in der vertauſendfachten Oberfläche des einfachen Culturareales das Waſſer auf viele Meter Höhe gehoben wird, ohne daß ein Tropfen Waſſer aus der angeſchnittenen Strombahn verloren geht.

Wählt man, um den Einfluß der Verdunſtung zu ſtudiren, ſelbſt ſolche Pflanzen, welche nach der Belaubung noch einige Zeit bluten: Rebe und Juſtitien (und allenfalls noch die Birke), ſo findet man: während am oberen Stammtheil, Fig. 406, bei *c* aus einem Waſſerbehälter *C* Waſſer aufgeſaugt wird, fließt ſolches unten in den Manometer aus.

Verſuch 1.

Ein Rebſproß wird an ſeinem unteren Ende (Fig. 411) unter ſo hohen Druck verſetzt, daß das Waſſer an einem oberen Querſchnitt ausfließt. An dieſem oberen Ende iſt ein Manometer angebracht, in welchen das ausfließende Waſſer eintritt und dadurch einen poſitiven Druck erzeugt. Iſt der Druck unten am Anfang groß genug, ſo gerathen alſo beide Querſchnitte *a* und *b* unter poſitiven Druck, welcher aber abnimmt in dem Maße, wie der eingeſchaltete Sproß verdunſtet oder Waſſer aus den Zähnen austreten läßt. Die Drucke in nachfolgender Tabelle ſind Queckſilberdrucke.

Stand im oberen Manometer.	Stand im unteren Manometer.	Temperatur.	Beſchaffenheit.	Tageszeit.	Dauer.
+134 Mm.	+958 Mm.	19°	—	2^{30} Uhr Nm.	3 St. 30 Min.
+205 »	+ 53 »	20°	Waſſer fließt nicht aus den Zähnen.	12^{45} » »	2 » 30 »
+196 »	+ 3 »	22°	desgl.	4 » »	nach 44 Stunden

Nun ſinkt der Druck im unteren Manometer bald auf 0, während der obere nur ſehr langſam ſinkt. Der Druck im unteren wird durch

des Pflanzenſaftes. 302. Bot. Ztg. 63. — P. SORAUER, Einfluß der Waſſerzuſuhr auf die Ausbildung der Gerſtenpflanze. 145. Bot. Ztg. 73. — N. J. C. MÜLLER in Bot. Unterſ. I. Bd. S. 21 ff. S. 85 ff. 225. S. 529 ff. — E. PFITZER, Ueber die Geſchwindigkeit der Waſſerbewegung in der Pflanze. (Vorl. Mitth.) 71. Bot. Ztg. 76.

Nachfüllen auf wenige Millimeter Queckſilber belaſſen, und dann wird er negativ, ſowie man mit dem Nachfüllen aufhörte. Aus der nachfolgenden Tabelle erhellt, daß der Strom des Waſſers von oben nach unten bei den verzeichneten Drucken ſo ſtark von den Blättern abſorbirt wird, daß kein Waſſer in den unteren Manometer eindringen kann.

Stand im oberen Manometer.	Stand im unteren Manometer.	Temperatur.	Tageszeit.	Dauer.
196 Mm.	24 Mm.	22°	5 Uhr Nm.	— St. 30 Min.
200 »	23 »	22°	5^{30} Nm.	6 » — »
189 »	18 »	21.5°	11^{30} Abds.	9 » — »

Während der ganzen Verſuchszeit waren die zwei Blätter vollſtändig turgeſcent. Die Länge des Sproßſtückes betrug 330 mm. Die Verdunſtung nimmt alſo von unten nach oben ſehr raſch ab, d. h. das untere ältere Blatt abſorbirt viel mehr Waſſer aus dem Manometer als das obere jüngere.

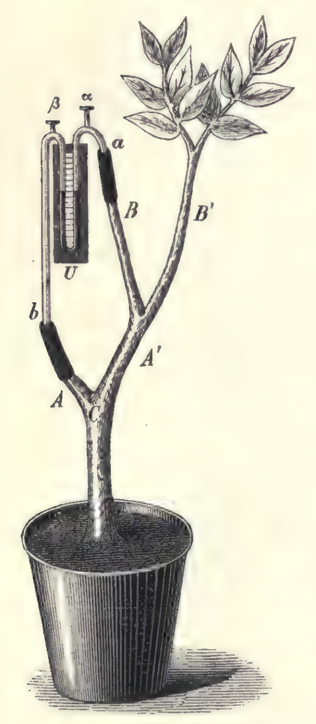


Fig. 412. Aehnliche Vorrichtung an einer Juſtitia wie in Fig. 411. Der Aſt *A* iſt mit dem Aſt *B* durch einen Differenzenmanometer in Verbindung gebracht, in α und β kann dieſes geöffnet werden. In *U* der Verbindungsröhre iſt Queckſilber, von *b* und *a* bis zu den Queckſilberſpiegeln iſt Waſſer.

Verſuch 2.

An einer im Topf wurzelnden Juſtitienpflanze werden zwei Manometer bei *a* und bei *b* angeſetzt (Fig. 412). Dieſelben ſind mit Waſſer gefüllt und communiciren mit dem Differenzenmanometer *U*, welcher mit Queckſilber gefüllt iſt. Sind die Ventile α und β offen, ſo ſtehen beide Querſchnitte *a* und *b* unter gleichem Druck und die beiden Queckſilberſpiegel in *U* auf 0. Werden nun α und β geſchloſſen, ſo ſtehen beide Querſchnitte im Anfang unter demſelben Druck, ſaugt nun *a* ſtärker, ſo wird der rechte Queckſilberſpiegel ſich ein wenig heben, weil der Kautſchukverband an *b* etwas nachgiebt, ſaugt *b* ſtärker, ſo wird der linke Spiegel ſich ein wenig heben. Der Geſammtdruck wird in beiden Fällen kleiner ſein wie der Anfangsdruck. Nach den Vor-

ſtellungen von SACHS und HOFMEISTER müßte man erwarten, daß bei der Anordnung, Fig. 412, der Geſammtdruck im Inneren größer würde. Es wird ſich zeigen, daß der Verlauf dieſes Verſuches denſelben nicht entſpricht.

Um nun am Schluſſe des Verſuches die wirkliche Druckdifferenz zwiſchen *a* und *b* zu erfahren, muß man zuerſt eines der Ventile öffnen, und zwar zuerſt β, wenn der rechte Spiegel in *U*, und zuerſt α, wenn der linke Spiegel in *U* der höhere iſt.

Bei allen nachfolgenden Ableſungen wurde der Geſammtdruck im Inneren immer negativ.

Dieſe Verſuche lehren uns:

1^0 ob der Wurzeldruck überhaupt eine Rolle ſpielt. Wirkt eine Druckkraft von der Wurzel aus, ſo muß dieſe ſich bei der nahezu vollkommenen Symmetrie des Zweigſyſtemes auf die Arme *A A'* und *B B'* vertheilen. In den belaubten Zweigen kann die Verdunſtung den Strom vollſtändig abſorbiren. In den tiefer liegenden, nicht belaubten *A* und *B* aber müßte ein poſitiver Druck erweislich ſein, denn ſo viel geht aus der Anordnung in Fig. 412 hervor, daß alle Drucke, die in der Pflanze geſchaffen werden, auch an den Manometern zur Wirkung kommen;

2^0 in welcher Weiſe ſich das Waſſer im Holzkörper vertheilt. Es wird ſich zeigen, daß der Waſſerſtrom, welcher von *C* aus ſich gabelt, in Richtung von *CA'B'* raſcher fließt als in Richtung *CA*.

Zeit.	Temperatur.	Druck in *a*.	Druck in *b*.	Differenz beider.
10 Uhr 30 Min Abends.	21,4°	o	o	o
7 Uhr früh.	20°	—	+	80 Mm.
Von 11 Uhr bis 11 Uhr 20 Min. Vorm.	28°	o —	o +	31 »
Von 11 Uhr 20 Min. bis 12 Uhr Vorm.	28°	o —	o +	55 »

Nun, nachdem die Pflanze längere Zeit in der Sonne geſtanden, wird ſie, nachdem durch Oeffnen von α und β der Druck im Inneren dem äußeren gleich gemacht war, in's Dunkle geſtellt.

Von 12—3 Uhr Nm.	20°	o —	o +	13 Mm.
Von 3—4 Uhr Nm.	20°	o —	o +	5 »

Nun wird die Pflanze in naſſe Tücher gehüllt.

Von 3—10 Uhr 15 Min. Nachm.	19,5°	o	o	o

Verſuch 3.

An einer Juſtitiapflanze, welche in einem Topf eingewurzelt iſt (Figur 413), werden die Gabeläſte *a* und *b* abgeſchnitten und an ihre Stelle Manometer geſetzt, welche ſowohl poſitive wie negative Drucke angeben. Das Sproßſyſtem iſt äußerſt regelmäßig, ſo daß man annehmen muß, daß unter normalen Verhältniſſen unter gleichem Druck in dem Niveau *A* durch die Gabeläſte *a* und *a'* gleich viel Waſſer fließt. Dasſelbe gilt für die Aeſte *b*—*b'*. Der Gang der beiden Manometer bei *a* und *b* zeigt uns aber, daß von einem Fließen des Waſſers unter höherem Druck nicht die Rede ſein kann.

Die Länge des Gabelaſtes *a* iſt 160 mm, die Länge des Gabelaſtes *b* iſt 270 mm, die Entfernung beider Manometer beträgt 600 mm.

Zeit.	Temperatur.	Oberer Manometer bei *b*.	Unterer Manometer bei *a*.	Witterung.
6½ Uhr früh.	19°	+ 7	+ 5	trocken
10 » früh.	19°	0	0	»
1 » Nchm.	20°	0	—12	»
8½ » Abds.	22°	—10	—15	Gewitter
11 » Abds.	22°	—24	— 3	naſſe Luft
8½ » früh.	21,5°	—33	0	»
12 » Mittags.	21°	—35	0	»
4 » Nchm.	22°	—37	0	»
1 » Nachts.	22°	—38	— 5	trocken
10 » früh.	22°	—40	—10	»
9 » früh.	21,5°	—45	—20	Gewitter, Regen
5 » Nchm.	23°	—43	—18	»
8½ » früh.	22,5°	—42	—18	»

Die Pflanze ſtand im diffuſen Licht und wird jetzt in die Sonne geſtellt, nachdem die Schnittflächen, an welchen die Manometer ſitzen, erneuert ſind. Die Manometerſtände, anfangs 0, ändern ſich in wenigen Stunden der Beſonnung auf

—10 im unteren, —50 im oberen nach 4 Stunden,
—12 « « —167 « « « 12 « .

Die ſtärkere Verdunſtung alterirt alſo den unteren Manometer nur unbedeutend, während der obere beträchtlich verändert wird.

Aus dieſen Verſuchen folgt:

1° die Betriebskraft für den Strom liegt in den Blättern;

2° ſie iſt für die größere Zeit der Verdunſtung unabhängig von dem Wurzeldrucke;

3⁰ ſie iſt jedenfalls eine complexe Wirkung der Verdunſtung, Capillarität und Osmoſe.

H. Theorie der Bewegung[1]).

Bei der Geſammtbewegung des Bodenwaſſers nach den höheren Baumtheilen während der Periode ſtärkſter Verdunſtung ſpielt der Wurzeldruck gar keine Rolle. Große Schwierigkeiten entſtehen in der Theorie dieſer Bewegung überhaupt nur bei oberflächlicher Beobachtung oder bei einſeitiger Anwendung phyſikaliſcher Principien und dadurch, daß man vergißt, daß zahlreiche Momente im Leben der Bäume und in ihrem Wachsthum hier hereingreifen, deren Urſachen uns ſelbſt nicht bekannt ſind. Das Leben kann mechaniſch in dem hier verlangten Sinne nicht erklärt werden, ebenſowenig das Phänomen des ſtetigen Wachſens an einem ſo complexen Gebilde, wie der Baum iſt. Beide beeinfluſſen jedenfalls die Erſcheinungen der Waſſer-, allgemein der Stoffbewegung. Vernachläſſigt man nun ganz jene Rückwirkung, ſo begeht man denſelben Fehler, wie wenn man nur die Phänomene an ſich ſtudirte und die Anwendung jedes phyſikaliſchen Principes und des Experimentes vermiede. Wie wollte Jemand z. B. ein Vorkommniß ſo complexer Natur, wie es auf Schritt und Tritt im Walde Einem entgegentritt, in Bezug auf die Translocation des Waſſers erklären, wie dieſe Linde (die Linde von Fontainebleau), Fig. 414. Der Baum iſt bis auf eine ganz kleine

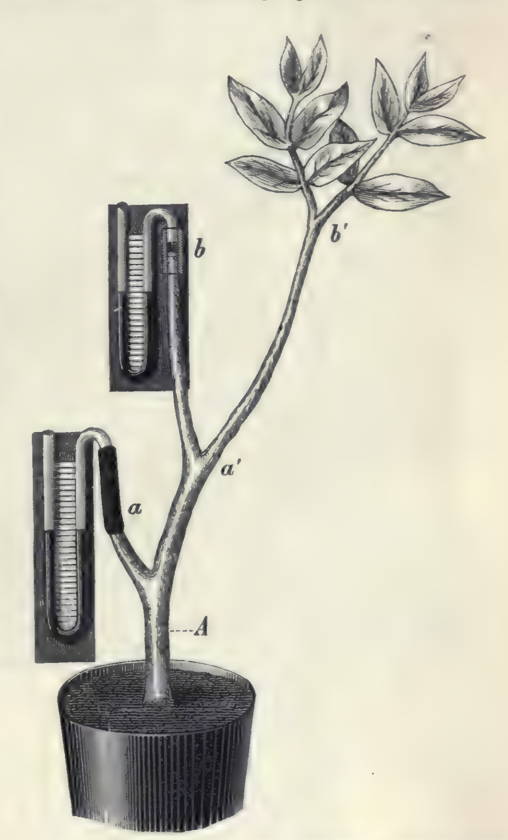


Fig. 413. Manometervorrichtung an einer im Topf wurzelnden Juſtitia adathoda: an einem tieferen *a* und einem höheren Gabelaſt *b* wurden Manometer angebracht, welche in den beiden Schenkeln, welche der Pflanze zugekehrt ſind, mit Waſſer, in den beiden äußern Schenkeln mit Queckſilber gefüllt ſind.

---

1) Nägeli, Capillarwirkungen. — Nägeli und Schwendener, Das Mikroſkop. S. 382 ff. — N. J. C. Müller, Bot. Unterſ. Bd. I. S. 20 ff. 85 ff. 225 ff. 529 ff.



Säule *CD* zerſtört, oben in der Krone aber einigermaßen ſo normal, daß er merkliche Waſſermengen aus dem ebenfalls geſunden Wurzelſyſtem bezieht.

In jener Säule *CD* fließt das Waſſer nicht unter hydroſtatiſchem Drucke, es muß imbibirt oder durch Capillarität feſtgehalten ſein. Dennoch kann hieraus nicht auf die Bedeutung der Imbibition und Capillarität gegenüber anderen Betriebskräften für den intacten normalen Baumkörper geſchloſſen werden.

Ich verſuche eine derartige Theorie mit Zugrundelegung der bis jetzt bekannten phyſikaliſchen Conſtanten und phänologiſchen Beobachtungen.

I. Phänologiſche Beobachtungen:

1⁰ alle Bäume wachſen waſſergefüllt (nach S. 422);

2⁰ alle Bäume ſtoßen die älteſten Aſtrangclaſſen von unten nach oben ab, nachdem die Aeſte getrocknet und abgetödtet ſind (nach Seite 383);

3⁰ alle Bäume wachſen an der Spitze und an der

Fig. 414. Linde von Fontainebleau (nach Trécul). Der Baum iſt bis auf eine ſchmale Parthie in *D C* eingefault, an dem Wurzelanlauf mit Waſſerreiſern verſehen.

Peripherie der Krone und ſetzen dort gelöſte Nährkörper in feſte Zuwachsmaſſe um;

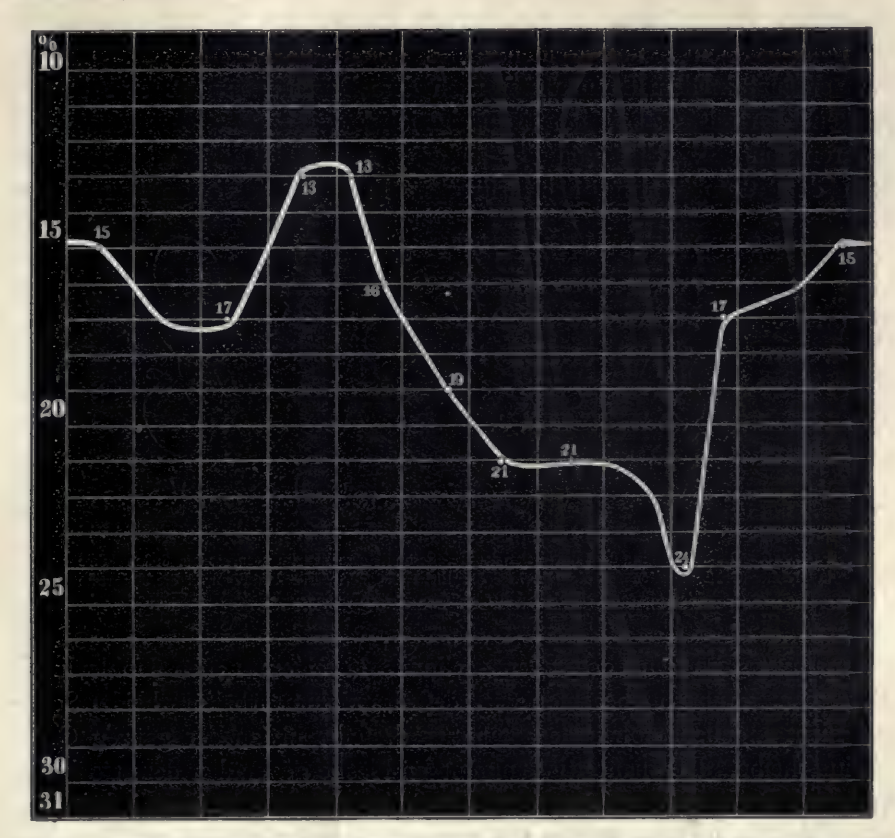


Fig. 415. Curve des Waſſergehaltes in den Stammabſchnitten der Buche und Hainbuche nach Mittelwerthen, welche von Lauprecht und Nördlinger gefunden wurden. Die Abſciſſenaxe bedeutet das Jahr, ſie iſt in 12 Theile getheilt, die erſte und letzte Ordinate, welche die Figur ſeitlich eingrenzen, entſprechen dem Monat Januar, die mittleren Ordinaten den übrigen Monaten. Die Curve entſpricht den Volumprocenten des Trockencylinders im Stamme. Dieſe erreichen im Januar ein Minimum, im März ein Maximum, das abſolute Minimum liegt mit 13 im April-Mai, von da ab wächſt das Volum des Trockencylinders und erreicht ein abſolutes Maximum in 24 im October, von wo ab die Curve wieder ſteigt und ſich im Januar an die erſte Ordinate wieder anſchließt. Die reciproken Werthe dieſer Ordinatenwerthe ſtellen den Waſſergehalt dar.

4⁰ alle Bäume bilden die belaubten Zweige im Zuſammenhang mit der laufenden Zuwachsſchale (Fig. 408 und deren Erklärung in S. 433);

5⁰ alle Bäume bilden die Aſſimilationsproducte von hohem osmotiſchem Aequivalent in den Blättern und vertheilen ſie von da über die Zuwachsſchale von Rinde und Holz (ſ. weiter unten);

6⁰ alle Bäume trocknen von innen nach außen und von unten nach oben aus[1]) (nach S. 424 und mit Berückſichtigung der graphiſchen Dar-

[1]) Trockenkronige Ueberhalter gehören zu den pathologiſchen Erſcheinungen.

ſtellungen Fig. 403, 404, 405). Hier haben Nördlinger und Lauprecht[1]) ganz werthvolle Meſſungen gemacht. Dieſe Forſcher beſtimmten in halbwüchſigen Buchen, Haſeln, Hainbuchen das Volum des Trockencylinders während des Jahres und ſtellten dieſes Volum als Function der Zeit dar. Man erkennt in dem Baumkörper nach dem Durchſägen ſtets eine hellere, trockenere Kreisſcheibe, deren Flächeninhalt gegenüber dem dunkleren, naſſeren Ring, welcher von der äußeren Peripherie der Kreisſcheibe bis nach dem Cambiumring ſich erſtreckt. Es ſteckt ſomit im Baumkörper



Fig. 416. Dieſe Zeichnung ſtellt die Weite der Gefäße und Holzzellen im 3ten, 40ſten, 80ſten Jahre in gleicher Größenrelation für die Jahrringe der Eiche dar. In der erſten Figur iſt die Bildgröße der Mikrometerſcala bei der gleichen Vergrößerung verzeichnet.

ein maſſiver Trockenkegel oder -cylinder in einem naſſen Hohlcylinder oder -kegel. Zunächſt beachten wir: daß das Volumverhältniß beider Scheiben nicht in allen Höhen des Stammes daſſelbe iſt zu der ganzen Querſchnittsſcheibe. Der naſſe Ring nimmt an Fläche gegenüber dem trockenen Kreis gegen die Stammſpitze hin zu. Sodann aber geht aus dieſem Verhalten hervor, daß der Stamm von innen nach außen austrocknet, und endlich folgt aus der vorſtehenden Aufnahme und dem Früheren, daß der Trockencylinder kleiner wird, indem in transverſaler Richtung, alſo vom letztjährigen Zuwachsring nach dem Centrum hin Waſſer einſtrömt. Der Trockencylinder ſchwankt in ſeinem Volum während des Jahres, erlangt die kleinſte Ausdehnung im Winter, die größte im Sommer nach der Blattentfaltung;

7⁰ in allen Bäumen nimmt im Holzkörper die Flächenanziehung von innen nach außen ab, d. h. die Querdurchſchnitte der Holz- und Gefäßröhren wachſen vom jüngſten Zuſtand des Baumes nach dem älteren. Die capillare Säule, welche gehoben wird, ſinkt, die Reibung nimmt ab. In allen Bäumen nimmt die Reibung vom Stamm nach dem Aſt und den

[1]) Lauprecht, Weiteres über Saftthätigkeit in Waldbäumen. Forſt- u. Jagdzeitung von G. Heyer. 1871.

Zweiglein zu, weil in den Zweigen höherer Ordnung die Röhrenweite kleiner ift (Fig. 416);

8⁰ in allen dicotylen Bäumen befchreibt ein Flüffigkeitstheilchen, welches, von der äußerften aufnehmenden Wurzelfpitze eintretend, das Syftem zu durchwandern hat, die kürzefte Bahn nach den verdunftenden Blättern, wenn es fich in der jüngften Holzfchale bewegt.

Die Gefammtflächenanziehung wächft im Stamm vom Schafte nach dem Zweigfyftem. Um dieß zu veranfchaulichen, beachte man die Fig. 417 und die nachfolgende Tabelle.

Verhältniß der Aftquerflächen zur Stammquerfläche der Fichte.

Durchmeffer cm.	Zahl der Aefte.	Kreisflächenfumme in qm.
1	21	0,002
2	15	0,005
3	13	0,009
4	9	0,011
5	9	0,018
6	8	0,023
7	1	0,004
		0,072 Gefammtfläche der Aefte.

Durchmeffer des Stammes am Abhieb 25 cm. Kreisfläche 0,049 qm.

Ein Blick auf Figur 417 zeigt, daß für die Bewegung eines Flüffigkeitstheilchens in centrifugaler Richtung aus dem Stamm in den Zweig die Molecularkräfte der Flächenanziehung mächtig wachfen.

Bei gleicher ftromerhaltender Kraft auf den Querfchnitt *A* würde die Bewegung eine befchleunigte im pofitiven Sinne fein, wenn der Strom von den dünneren Zweigen mit kleinerem Röhrendurchmeffer unter hydroftatifchem Drucke ftrömte. Umgekehrt müßte in Richtung des Pfeiles die Strömungsgefchwindigkeit verringert werden, wenn fie ganz allein vom hydroftatifchen Drucke abhinge. Umgekehrt würde die Sache liegen, wenn lediglich die Flächenanziehung der Röhren zur Wirkung käme. Für jeden Schritt, den es im tieferen Niveau des Stammes in's Stamminnere mit den Pfeilen, Fig. 405, 408, macht, muß es in größerer Nähe der verdunftenden Blätter einen Schritt nach außen machen, um zum zweiten Male jene Zuwachsfchicht zu paffiren, welche allein mit dem Laubblatt des laufenden Jahres in Verbindung fteht.

II. Phyfikalifche Momente.

1. Adhäsion der Flüssigkeit in den lebenden Zellen der verdunstenden Blätter und Zweige.

Böhm führt diefe Betrachtung herein: in allen verdunftenden Zellen, welche nach ihren anderweiten phyfiologifchen Functionen mit Zellflüffigkeit angefüllt find, haftet die Grenzfchicht des Flüffigen an der feften Membran, fo in allen Zellen der Epidermis, dem Parenchym der Blätter und Rinde, im Cambium, kurz in allen nicht austrocknenden Geweben.

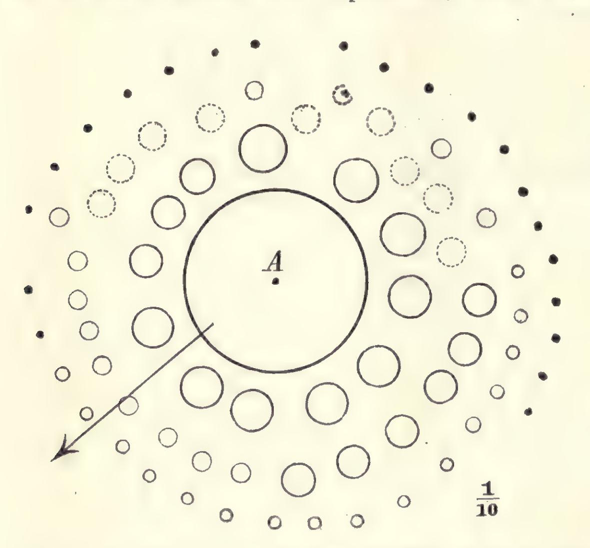


Fig. 417. Querfchnittsprojection der Krone einer Fichte in 1/10 der natürlichen Größe.

Wenn nun eine folche Zelle durch Verdunftung Waffer verliert, fo müßte ein wafferleerer Hohlraum entftehen oder die Membran wird durch die Adhäfion an der kleiner werdenden Flüffigkeitsmaffe nach einem kleineren Volum comprimirt und wird fo im pofitiven Sinne gefpannt fein, daß fie nach dem größeren Volum zurückftrebt. Diefer Zug wird in allen Geweben von Zelle zu Zelle ausgelöft, indem Waffer von den minder gefpannten nach den ftärker gefpannten Zellen ftrömt, welche in den Blättern, Zweigen, allgemein den peripheren und nicht verkorkten Orten liegen, wo die Verdunftung am ftärkften ift.

2. Capillarität.

Wir haben hier nur die Haarröhrenattraction im Sinne, welche an nicht molecularen, an fichtbaren Capillaren fich geltend macht, und beachten, daß alle hier in Betracht zu ziehenden Capillaren während des Wachsthumes der Pflanze aus dem Zuftand vollftändigfter Füllung mit Waffer allenfalls fpäter zum Theil in einen Zuftand übergehen, in welchem fie mit Luft mehr oder weniger vollftändig angefüllt find. Capillare Röhren finden fich in allen Bäumen, allen Gefäßpflanzen. Aus der Hiftologie und aus Fig. 418 erhellt, daß folche Röhren niemals gleichweit und nicht immer in Richtung der Axe des Pflanzentheils fortlaufende Cylinder find, fondern

gelegentlich durch Seitenporen transverſale, dann wieder axile Waſſerſtränge möglich machen, Fig. 418.

Die capillare Höhe in dem Holze hat man näherungsweiſe nur aus der Weite der Röhren geſchätzt, eine directe Beſtimmung wurde bis jetzt nicht vorgenommen. Die Methode, welche ich anwandte, beruht auf der bekannten Thatſache, daß die capillare Säule nur abhängig iſt von der Beugung des Meniscus. Man kann demgemäß eine enge Röhre benutzen, um in einer daran befeſtigten weiteren eine dem Meniscus in der engen entſprechende Waſſerſäule gegen die Schwere zu heben. Dem entſprechend kann man einen NÖRDLINGER'ſchen Holzſchnitt an einem Differenzenmanometer ſo befeſtigen, daß er den einen Schenkel abſchließt gegen den Zug oder Druck einer beſtimmten Waſſerſäule in dem andern Schenkel.

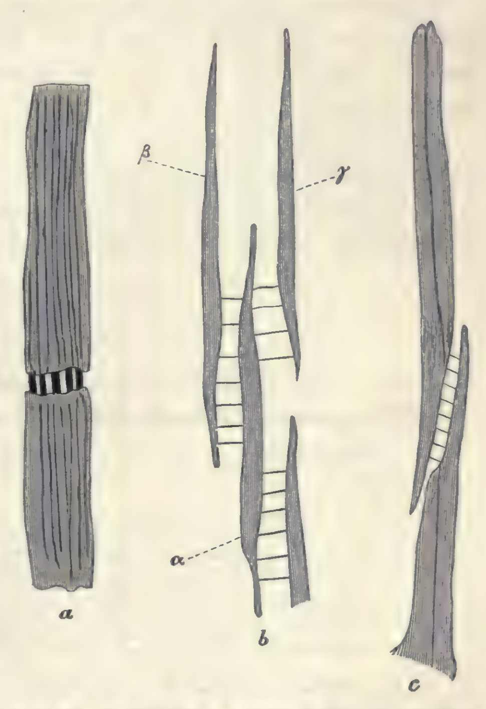


FIG. 418. Capillarſyſteme, *a* zweier Gefäße mit leiterförmig durchbrochener Wand; *b* der Abietineen. Holzzelle mit Seitentüpfeln; *c* einer Tracheïde mit Poren in der geneigten Querwand.

Der Manometer, welchen ich anwandte, hatte die durch Fig. 419 veranſchaulichte Beſchaffenheit. Die beiden Waſſer- (reſp. Queckſilber-) ſäulen können beliebig zu einander verſchoben werden durch Verſchieben der Klammern *C C*, von welchen die eine mit *C'* einer Mikrometerſchraube für die genauere Einſtellung des einen Spiegels verſehen iſt. Auf dem Rand des Glasrohres *A* wird der Schnitt mit Lack im trockenen Zuſtande feſtgeklebt, ſodann wird der zugehörige Schenkel *A A'* ſo lange geſenkt, bis der Waſſerſpiegel mit dem Schnitte in Berührung iſt. Nunmehr wird der andere Schenkel *B B'* ſo lange geſenkt, bis die Waſſerſäule dadurch abreißt, daß durch den Schnitt Luft in den erſten Schenkel eintritt. In dieſem Moment iſt die capillare Höhe des betreffenden Schnittes ſoeben erreicht und kann ſomit durch Ableſung des Niveauunterſchiedes der beiden Spiegel in dem beſagten Zeitpunkt leicht ermittelt werden. In den nachfolgenden Beſtimmungen wurden die Schnitte trocken angewandt und der Verſuch mehreremale wiederholt, nachdem dieſelben benetzt waren. Es

zeigte ſich, daß mit der Imbibition und der darauf folgenden mächtigen Quellung die capillaren Röhren verengt, ſomit die gehobenen Waſſerſäulen allmälig vergrößert werden. So zeigte die Linde Tilia argentea eine capillare Höhe für den ſoeben benetzten Schnitt von 110 mm.

Es ergab ſich die capillare Höhe für die Eiche im Splint, alſo den jüngeren Holzlagen, im Beginn zu 60 mm, nach 20 Minuten 81 und zuletzt nach 60 Minuten zu 96 mm. Im Kernholz aber wurden beobachtet anfangs 120 mm.

Bei der Buche wurden anfangs 175, zuletzt aber 358 mm beobachtet. Bei der Kiefer im Beginn 170, zuletzt 195 mm.

Aus dieſen Daten läßt ſich die capillare Höhe, abhängig von der Röhrenweite, berechnen, zunächſt für den Endzuſtand der Röhre.

	$2r$ Weite in Mikromm.	h Steighöhe Maximal in mm.	Produkt aus $2rh$ in mm.
Popul. balſam. . . .	83	182	15,106
Oſtrya vulg.	80	180	14,400
Tilia argent.	50	275	13,75
Fagus ſilv.	125	358	9,95
Quercus Splint . . .	401	96	38,496
» Kern . . .	323	115	37,145
Pinus ſilv.	97	195	18,915

Die capillare Höhe muß nach der Betrachtung der Figur 420 innerhalb weiter Grenzen ſchwanken, wenn man alle Aſtrangklaſſen eines Baumes in Betracht zieht. Die Relationen der Röhrenweite ergeben ſich z. B. für die Eiche für die aufeinanderfolgenden Aeſte aus der Figur 420, wo die oberſte Figur den hundertjährigen Stamm, die unterſte den wenigjährigen Zweig darſtellt. Die kreisförmigen Poren in der Zone J' oder J entſprechen den Gefäßquerſchnitten.

3. Jamin's Phänomen.

Die Möglichkeit, daß in dem lufterfüllten Holze capillare Säulen von größerer Ausdehnung wie der Röhrenweite entſpricht vorhanden ſind, geht aus dem Früheren, S. 447, Fig. 418, und S. 444, Fig. 416, hervor.

Ich habe Glasröhren hergeſtellt, welchen wechſelnd in den Erweiterungen Luft, in den Verengungen Waſſer führen, in welchen bei einem Druck von 3 Atmoſphären die capillaren Waſſerfäden nicht abriſſen.

In den nachfolgenden Strömungsverſuchen aber reißen die Luftblaſen im Holze ſchon bei 200—500 mm Queckſilber ab. Dieſes Phänomen

wurde von JAMIN zuerſt beobachtet. Es ſpielt in dem Baume keine weſentliche Rolle. Die Theorie des Phänomenes iſt nicht abgeſchloſſen.

4. Strömungsgeschwindigkeit.

a) Geradlinige unverzweigte Strombahnen.

Schneidet man geeignete Zweige von unſeren Waldbäumen ab und bringt ſie an einen der Manometerſchenkel, Fig. 419, preßt durch Hebung des queckſilbergefüllten Schlauches Waſſer durch die Capillaren des Zweiges, ſo beobachtet man bei niederen Drucken, daß das Waſſer continuirlich ausfließt; ſteigert man nun plötzlich den Druck auf 300 bis 500 mm Queckſilber, ſo ſprudeln kleine Luftbläschen mit dem Waſſer heraus.

Verſuchsreihe.

Eine 3,75 m lange friſche Eichenſtange wird unter den Waſſerdruck der Waſſerleitung (3,45 m Waſſer) verſetzt und die Ausflußmenge beſtimmt. Der Strom ging von dem engen nach dem weiten Querſchnitt:

Ganze Länge, Zeit 4 Stunden, Menge 4 ccm, Temperatur 12°.

Länge.	Unten.	Mitte. Durchm. mm.	Länge.	Unten. Durchm. mm.	Mitte.
1/1	20	17	1/8	13	12
1/2	17	15	1/16	12	—
1/4	15	13	1/32	—	—

Die Länge der Stange geht nach den früheren Verſuchen weit über die capillare Höhe hinaus. Um zu zeigen, daß die capillare Säule abreißt, wurde nunmehr eine ſolche Stange aufrecht mit dem einen Ende in ein graduirtes enges Gefäß mit Waſſer geſtellt, während das obere mit der Luft communicirte. Es zeigte ſich ſofort ein Ausfließen, wobei auch Luft mit austrat; in 10 Minuten waren 5 cc Waſſer durch Sinken der capillaren Säule ausgetreten.

Länge.	Zeit.	Menge.	Temperatur.
1/2	1 Stunde 45 Minuten	19 Cc.	15° C.
1/2	1 » 50 »	8,6 »	10° »

Dieselbe Probe wie oben mit demselben Erfolge.

Länge.	Zeit.	Menge.	Temperatur.
1/2	2 Stunden 9 Minuten	8,8 ccm	10° C.
1/4	— » 37 »	4,4 »	10° »
1/4	— » 60 »	5,8 »	10° »
1/8	— » 30 »	1,8 »	10° »
1/8	14 » — »	2,52 »	10° »
1/16	— » 94 »	13 »	10° »

Nach den POISEUILLE'schen Untersuchungen ist die Strömungsgeschwindigkeit in engen Röhren[1]) abhängig von der Anziehung der Wand zur Flüssigkeit für verschiedene Lösungen, also von der chemischen Natur derselben. Hier bei den uns interessirenden Phänomenen mag die transpirirende Flüssigkeit Wasser sein. Die Röhrenweite ist constant für das gegebene Röhrenstück. Es ist alsdann die Wassermenge, welche austritt, dem Drucke selbstredend direct proportional, wenn die Röhre nicht, wie oben bemerkt, theilweise mit Luft gefüllt ist. Die Ausflußmenge aber ist alsdann

$$Q = C \frac{H D^4}{L}$$

der vierten Potenz des Röhrendurchmessers D noch direct und umgekehrt der Röhrenlänge L proportional. C ist eine von der Temperatur abhängige Constante, für Wasser von 1^0 ist $C = 135,35$.

POISEUILLE's Röhren[2]) maßen 0,1 mm. Die Formel wird

$$Q = 1836,724\,(1 + 0,0336793\,T + 0,0002209936\,T^2)\,\frac{H D^4}{L}.$$

Da die in der Zeiteinheit ausfließende Wassermenge ausgedrückt ist durch $\frac{v D^2 \pi}{4}$, worin v die Stromgeschwindigkeit ($\frac{D^2 \pi}{4}$ der Querschnitt der Röhre), so läßt sich obige Formel einfacher schreiben:

$$v = \frac{H D^2}{L} \times \text{Const.};$$

hierin ist aber die Correction für verschiedene Werthe von T vernachlässigt. Setzt man $T = 15^0$, so wird

[1]) HAGEN und POISEUILLE, WÜLLNER a. a. O. S. 251.

[2]) EISENLOHR, Lehrbuch der Physik. S. 112. — NÄGELI u. SCHWENDENER, Das Mikroskop. S. 389.

$$\text{Conſt.} = \frac{4}{\pi} \cdot 1836{,}724 \cdot 1{,}5549 = 3636{,}3,$$

und es wird

$$v = 3636 \frac{H D^2}{L}.$$

Verſuchsreihe.

Strömungsgeſchwindigkeit des Waſſers im Holz, abhängig von der Temperatur.

Ein 10 cm langer, 10 mm dicker Haſelzweig läßt dieſelbe Waſſermenge durchfließen

Temperatur.	Zeit.	Druck.
bei 0° C.	96 Minuten	650 mm Queckſilber.
» 4° »	71 »	650 » »
» 4° »	55 »	560 » »
» 7° »	53 »	» » »
» 8° »	50 »	» » »
» 13° »	43 »	» » »
» 16° »	35 »	» » »
» 20° »	39 »	» » »

In unſerm geradläufigen Stromſyſtem ſpielen aber noch gewiſſe Schleußen eine Rolle. Es ſind die Orte, wo das Röhrenſtück aus dem Jahre *n* ſich anſetzt an das im Jahre $n + 1$ hinzugewachſene Stammſtück (ſ. Anatomie S. 433, § 32).

So wurde bei der Eſche in einem geradlinigen Zweigſtück, welches eine Niederblattregion enthielt, für den Strom im aufſteigenden Sinne die Dauer von 186 Secunden beanſprucht, während der Strom durch die Niederblattſchleuße ging; wurde nun dieſe entfernt, ſo erforderte derſelbe Strom nur 65 Secunden. Durch das Abſchneiden der Niederblattregion aber war die Länge der Strombahn nur von 200 auf 160 mm verkürzt.

Die Niederblattregion in einem Zweige wirkt wie eine Schleuße, welche die Jahrestriebe eindämmt. Die Geſchwindigkeit wird für die gleiche Stromſtärke durch eine Niederblattregion auf den dritten Theil herabgemindert.

Ganz in dem gleichen Sinne zeigen die folgenden Verſuche den Einfluß der Gefäßanaſtomoſen und Beugungen in der Wirtelzone der Niederblätter.

b) In winkligen Zweigbahnen.

Mit Bezugnahme auf die grobe Anatomie der hier zu betrachtenden Auszweigungsſyſteme (§ 32, S. 302 ff. und S. 343) mögen die Winkelbahnen hier mit in Betracht gezogen werden. In Zweigbahnen, welche von der geradläufigen abweichen, wird die Geſchwindigkeit der Bewegung, conſtante Röhrenweite vorausgeſetzt, von der Größe des Winkels abhängig ſein. Die allgemeine Form des Problemes, ſo weit ſie den Baum betrifft, iſt dieſe: die Längsleitung geht parallel der Faſer. Der Faſerverband kann nun ſein, wie Fig. 418 *a* darſtellt. Er kann aber auch ſo ſein, daß von der gegebenen Faſer α im Fichtenholz der Strom nach β oder nach γ geht, in dieſem Fall (Fig. 418 *b*) wird man für die gegebene Tangentialfläche im Stamme, in welcher die Längsleitung erfolgt, annehmen müſſen, daß für viele Meter weite Strecken die Strömung eines gegebenen Waſſer-

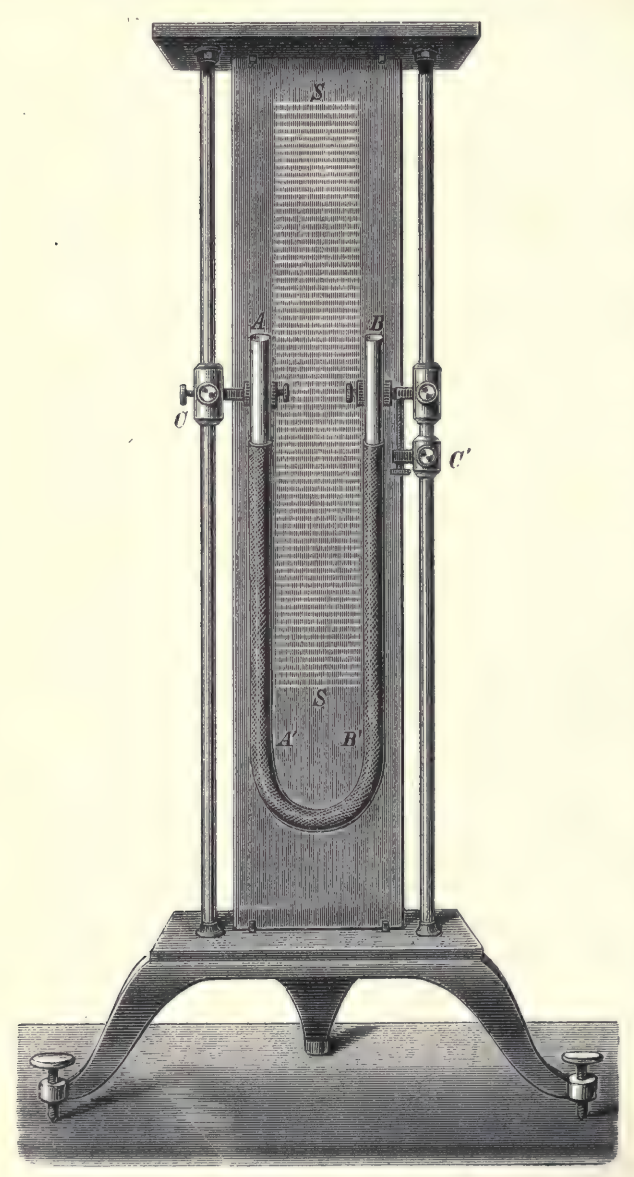


Fig. 419. Manometer zur Beſtimmung der capillaren Höhe und der Strömungsgeſchwindigkeit in engen Röhren (Holzröhren).

theilchens ſo erfolgt, daß es von der gegebenen Ausgangsfaſer gerade ſo oft nach β als nach γ abwich. Hierbei aber muß es durch die Schließ-

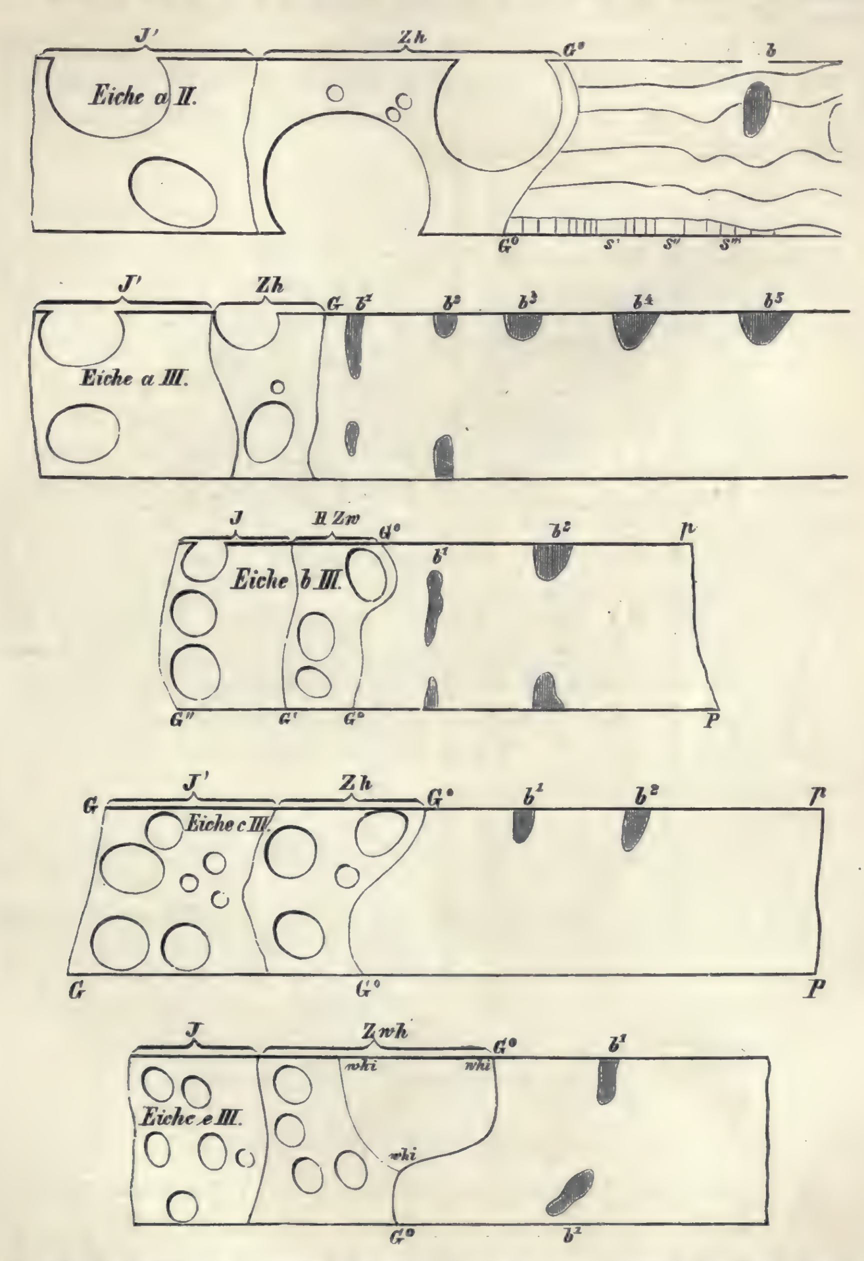


Fig. 420. Erklärung: Ei *I* Stamm, Ei *II* Aſt, Ei *III* Zweig der letzten Ordnung. *J* vorjähriger Ring. *Zwh Zh* Holzzuwachs. *GG* Grenze zwiſchen Holz und Rinde. b^1, b^2, b^3 . . . Baſtbündel. *S'*, *S''* Leitzellen (Siebröhren). *whi* Inſel von Winterholz. *a b c* . . . Daten mit 14tägigen Intervallen. Vergrößerung bei allen 108/1.

haut filtriren. Alle derartigen Röhren verlaufen nun in der Cylinderfläche ſchraubenlinig, ſo daß von einer abſolut genauen Längsleitung im Stamm unſerer Bäume nicht die Rede ſein kann.

Nach S. 343 tritt die Faſer von der unteren Seite des tragenden Aſtes in den Zweig der nächſten Ordnung (Fig. 333, S. 344). Von Intereſſe ſchienen hier einige Verſuche über vor- und rückſchreitende Strömungsbewegungen[1]).

Verſuch.

Ahorn. Stromſyſtem der Figur 421.

Länge aller vier Abſchnitte der Strombahn = 40 mm	Dicke A = 5 mm, « B = 3 « « C = 6 «

Temperatur 21° C.,
Druck ½ Atmoſphäre,

Richtung $a\nearrow$	Dauer bei	A	2 Minuten 33 Sec.,
	« «	B	2 Stunden 3 Min.,
« $b\swarrow$	« «	B	50 Minuten,
	« «	C	50 Secunden.

Dieſer Verſuch zeigt, daß ein Unterſchied beſteht in der Geſchwindigkeit, wenn der Strom auf- oder abwärts gerichtet iſt. Die Geſchwindigkeit in der Winkelbahn $AC'B$ bei rückſchreitendem Strom iſt größer als diejenige der Winkelbahn $CC'B$. Dieß kann nur erklärt werden durch den Verlauf der primären Fibrovaſalſtränge.

---

[1]) Die Formel der Ingenieure (ſ. Ingenieurs Taſchenbuch. Berlin. Ernſt u. Korn. 1875):

«Die Waſſermenge, welche durch eine Röhrenleitung von gegebenen Dimenſionen bei gegebenem Gefälle h erhalten werden kann, iſt:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} v = 0{,}7854\, d^2 v.$$

Die Geſchwindigkeit v aber iſt offenbar:

$$v = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1{,}505 + \lambda \frac{l}{d}}},$$

worin g das Gewicht der Flüſſigkeit, l die Länge der Röhre, λ den Reibung-Coëfficient bedeuten. Durch ein gekrümmtes cylindriſches Rohr iſt $h_1 = \zeta_2 \frac{\beta}{90^0} \cdot \frac{v^2}{2g}$, hierin iſt ζ der Coëfficient des Eintrittswiderſtandes $\zeta_2 = 0{,}131 + 1{,}847 \left(\frac{a}{r}\right)^{1/2}$.

Syringa. Stromſyſtem der Figur 422.
Stromlänge α, γ, β, alle = 25 mm,
Dicke 3—4 mm,
Temperatur 25° C.,
Druck 1/2 Atmoſphäre,
Richtung *a* Dauer in *C* 27 Min. 50 Sec.,
B 26 « 30 «
« *b* « « *A* 8 « 20 «
B 12 Stunden.

Die größte Geſchwindigkeit herrſcht in der ſtumpfwinkligen Bahn und rückſchreitenden Richtung, die kleinſte in der ſpitzwinkeligen Bahn bei rück- und vorſchreitender Bewegung.

Durch eine größere Reihe ähnlicher Verſuche[1]) gelangte ich zu den nachfolgenden Geſetzmäßigkeiten:

An einem ſtumpfwinkligen Zweigſyſtem Gabelaſt, in welchem die zwei Gabeläſte die gleiche Länge beſitzen, wie der tragende Aſt, verhalten ſich die Geſchwindigkeiten in der geradlinigen Bahn und der ſtumpfwinkligen wie 1 : 26, die Geſchwindigkeiten in der geradlinigen Bahn für die auf- und abſteigende Richtung 1 : 15. Die Geſchwindigkeit ſteigt für je eine Stammaſtbahn und den gleichen Druck, wenn die Oeffnung anderweiter Aeſte verſtopft iſt.

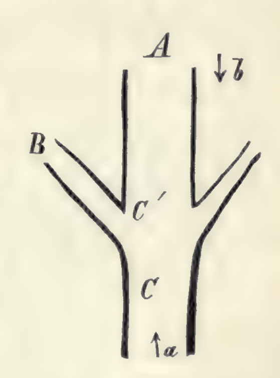


FIG. 421. Ahornzweig einjährig mit zwei Blattſtielen.

5. Diffusion des Flüssigen zum Festen (Imbibition)[2]).

Unter Imbibitionswaſſer iſt zu verſtehen die Waſſermenge, welche in der feſten Maſſe der Membranen in molecularen Hohlräumen aufgeſaugt iſt, oder bei quellungsfähigen Membranen als eine Waſſerhülle um das Molecul feſter Membranſubſtanz gedacht werden muß. Experimentell läßt ſich dieſe Waſſermenge für die Volumeinheit lückenloſer Membranſubſtanz nicht beſtimmen.

Alle Membranen ſind im Beginn waſſerreicher. In den uns beſchäftigenden Strombahnen verläuft alſo das Phänomen umgekehrt wie jede künſtlich vorgenommene Tränkung trockener oder nicht abſolut geſättigter Holzmaſſe. Alle Membranen, welche hier in Betracht kommen, werden

---

1) N. J. C. MÜLLER, Bot. Unterſuchungen. C. Winter. Heidelberg. 1870—78. I. Bd. S. 554 ff.

2) J. WIESNER, Ueber die Bewegung des Imbibitionswaſſers im Holze und in der Membran der Pflanzenzelle (vorl. Mitth.). 353. 361. Bot. Ztg. 75.

nach ihrer Entſtehung mit der Zeit waſſerärmer. Sie füllen jedenfalls im Verlauf der Entwickelung (Verholzung, Verkernung) einen Theil ihrer molecularen Interſtitien, welche vorher mit Waſſer erfüllt waren, mit feſter Maſſe aus.

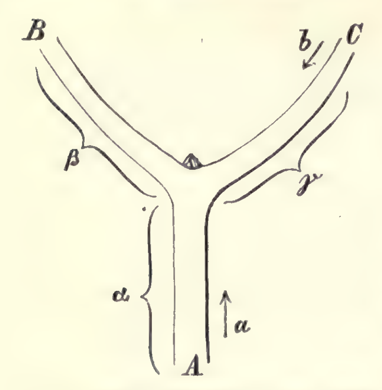


Fig. 422. Syringa, Zweiggabel, in deren Winkel der Blüthenſtand des vorigen Jahres ſaß.

Aus den Curven, Fig. 403, und den Meſſungen S. 425 über das Vordringen des Stärkeſtromes im Stamm geht hervor, daß von der jeweiligen peripheren Zuwachsſchale für Holz und Rinde alle Jahre feſte Theile mit dem Waſſer in tiefere Lagen des Holzkörpers gelangen, welche zum großen Theile dort verbleiben, nachdem das Waſſer verdunſtet und der Trockencylinder in das Maximum ſeines Volumes getreten iſt.

Die Waſſermenge, welche Holz überhaupt aufzunehmen vermag, kann man nur beſtimmen, wenn ſolches viele Monate, ja mehrere Jahre unter Waſſer ſtetig evacuirt wird.

Als Maximum erhielt ich bei Erlenholz, welches zwei Jahre lang in luftfreiem Waſſer gelegen hatte:

Cylinder mit vier Jahresringen:

Gewicht naß	3,92 g,
Volum naß	3,3 ccm,
Gewicht trocken	1,4 g,
Volum trocken	2,75 ccm.

Dieſe Wägungen ergaben auf die trockene Holzmaſſe: 180 %.

	100 Gewichtstheile Holz haben bei einjährigem Liegen in Waſſer aufgenommen Gewichtstheile.	100 Volumtheile haben ſich dabei ausgedehnt um Volumtheile.
Hainbuche	60	12,9
Eiche	60	7,2
Kiefer	102	4,8
Pappel	214	8,4

Es erhellt hieraus, daß die poröſen Hölzer (Kiefer, Pappel) eine größere Waſſermenge aufnehmen als die dichteren (Eiche, Hainbuche).

Eine einfache Betrachtung genügt, um einzuſehen, daß die Diffuſion des Waſſers zu den feſten Theilen des Holzkörpers eine ſo untergeordnete

Rolle ſpielt, daß ein Ausgleich in ſo geringer Entfernung, wie zwiſchen dem jüngſten und dem zwanzigſten Jahrring eines Baumes, nicht möglich wird. Um zu zeigen, daß auch in der Längsrichtung dieſer Ausgleich nicht vor ſich geht, wurden entlaubte, 2—3 cm dicke Aeſte von 50 cm Länge an einem Ende entrindet, mit dem anderen Ende in Waſſer geſtellt, in Intervallen von 3—4 Tagen wurden dieſelben gewogen und alle Wägungen zuletzt zuſammengeſtellt. Die Tabelle zeigt, daß alle von Beginn des Verſuches an Gewicht verloren, daß ſomit die Imbibition in viel weiteren Waſſerbahnen, als ſie im normalen Verlauf von dem Baume benutzt werden, den geringſten Verluſt auf die kürzeſte Diſtanz nicht zu decken vermag.

	1. Wägung.	Nach 7 Tagen 2. Wägung.	Nach 13 Tagen 3. Wägung.	Nach 17 Tagen 4. Wägung.
Corylus	55,85	55,25	54,66	53,21
Fagus	57,45	57,00	56,77	55,39

In verhältnißmäßig großen Zeiträumen, wie 2—3 Monate ſind, wird erſt ein merklicher Ausgleich hergeſtellt dadurch, daß die trockenen Theile des Holzkörpers den naſſen durch Diffuſion Waſſer entziehen. Legen wir nun mit Berückſichtigung der von Lauprecht aufgeſtellten Curve unſeren Zeitpunkt der Meſſung in den Winter (December), ſo ſollte man nach den Vorſtellungen der Diffuſionslehre erwarten, daß der mittlere Waſſergehalt in den Holzconvoluten von einem nach dem anderen Niveau von dem Waſſer aufnehmenden Pol nach dem Waſſer abgebenden ſinken müßte, die nachfolgenden Meſſungen aber zeigen gerade das umgekehrte Verhältniß.

Verſuche, die Imbibitionsleitung nach den zwei Hauptrichtungen zu beſtimmen.

Mit einem und demſelben Pressler'ſchen Zuwachsbohrer wurden gleichlange Bohrſtücke in radialtransverſaler, ſowie in der Längsrichtung hergeſtellt. Dieſe Schnitte ſind dem Volum nach näherungsweiſe gleich. In ihrer Längsrichtung werden ſie einem wandernden Waſſertheilchen verſchiedene Widerſtände entgegenſetzen, welche abhängen von dem Waſſergehalt in dem Schnitte, von der hiſtologiſchen Beſchaffenheit der Bahn, welche das Waſſertheilchen durcheilt, und von der molecularen Beſchaffenheit der Membranen, in welchen das Waſſer imbibirt iſt. Die ſämmtlichen Schnitte wurden unter Waſſer luftleer gepumpt und in enge Glasröhren mit Hilfe eines Kautſchukſchlauches ſo eingefügt, daß nur ein kleiner 5 mm langer Cylinderabſchnitt des Holzcylinderchens hervorragte, welcher im Ex-

ſiccator verdunſtet. Durch Wägung der ſo beſchickten Röhrchen wurde deren Verdunſtung in gleicher Zeit bei gleicher Temperatur in dem gleichen trockenen Raum beſtimmt:

	Gewichtsverluſt				
	Anfangs-gewicht nach grm.	nach 24 St.	nach 72 St.	nach 120 St.	nach 546 St.
I. Region längs	11,880	0,315	0,930	1,347	*1,920*
» radial transverſal .	9,700	0,185	0,290	0,340	0,535
III. » längs	13,35	0,360	1,020	1,505	*1,830*
b radial transverſal .	9,950	0,280	0,475	0,505	0,615
Letzte Region Gipfel längs . .	11,910	0,420	0,915	1,365	1,785
Aſt achtjährig längs	13,44	0,400	0,865	1,120	*1,285*
Zweig zweijährig längs . . .	8,270	0,315	0,625	6,45	*0,72*

Aus den Verſuchen geht hervor, daß die Leitung des Waſſers von dem Waſſer aufnehmenden Pol nach dem verdunſtenden, ſo weit ſie auf einer Diffuſionsbewegung zwiſchen den feſten Theilen beruht, eine außerordentlich langſame iſt. Der auffälligſte Unterſchied beſteht zwiſchen der transverſalen und der Längsrichtung. Hierauf beruht es, daß der Stamm überhaupt innen austrocknet, denn die Entfernung zwiſchen dem trockenſten Punkt und dem feuchteſten in einer Querſchnittsſcheibe iſt ſelbſtredend ſtets kleiner als dieſelbe zwiſchen zwei ähnlichen Punkten der Längsrichtung. Käme die Diffuſion des Flüſſigen zu dem Feſten während der Verdunſtung zu irgend erheblicher Bedeutung, ſo müßte dennoch die Waſſerbewegung von außen nach innen den Verluſt raſcher decken als in der Längsrichtung, wo es ſich um eine viele Meter betragende Entfernung handelt. Das einzige Moment der Bewegung von Waſſer auf dem Wege der Imbibition (Diffuſion) kann doch nur der Unterſchied im Waſſergehalt zwiſchen dem Ausgangspunkt und dem Ziel der Bewegung ſein, und es iſt ganz gleichgiltig, wodurch dieſer Unterſchied hervorgebracht wird.

6. Mac Nab's und Pfitzer's Versuche[1]) (Cotta's Tinctionsversuche).

Bei jedem abgeſchnittenen Zweige, welcher in Waſſer oder in eine Löſung geſtellt wird, machen ſich zwei Erſcheinungen geltend. Das Waſſer

[1]) Pfitzer, Verh. d. naturhiſt.-med. Ver. Heidelberg. Neue Folge. I. 3. Heft. S. 173. Mac Nab.

ſteigt capillar durch die Holzzellen, Tracheïden und Gefäße, und die feſte gelöſte Subſtanz wird ſehr bald in größerer Concentration in die Membranen eingelagert als ſie in der Löſung herrſchte. Bei der Verdunſtung ſchreitet der Waſſerſtrom etwas ſchneller vor als das Pigment oder Salz, welches in dem Waſſer gelöſt iſt.

Um die Geſchwindigkeit der Strömung in verdunſtenden Pflanzen zu beſtimmen, wurde beobachtet, wie viel Zeit vergeht, bis an einer im Topfe wurzelnden Juſtitia ein vorher welkes Blatt ſeinen Turgor wieder erlangt.

Pfitzer erhält 5 m für die Stunde.

Sachs fand an einem Silberpappelzweig 23 cm in der Stunde.

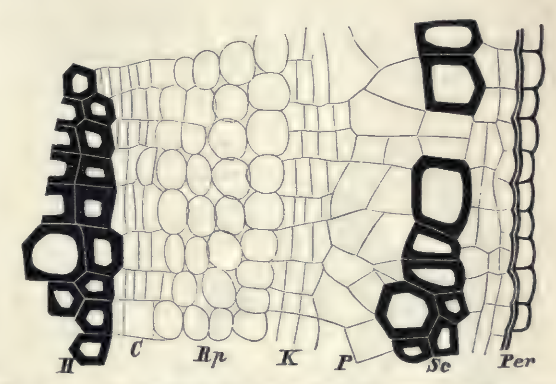


Fig. 423. Querſchnittsparthie durch einen einjährigen Lonicerenſtamm, welcher, mit ſeinen Blättern mehrere Stunden in einer Anilinlöſung ſtehend, verdunſtete. Das Holz *H* und eine Scheide von Sclerenchymzellen, welche gleich unter dem Periderm *Per* liegt, haben ſich ſtark tingirt. *K* Kork, *Rp* luftführendes Rindenparenchym, *C* Cambium ſind nicht tingirt, ebenſowenig das Periderma.

Mac Nab (1871) fand das Vorſchreiten ſolcher Salzlöſungen, welche ſpectralanalytiſch leicht kenntlich ſind, mit 46 cm für die Stunde.

Mac Nab (1874) findet die Geſchwindigkeit von 40 engl. Zollen in der Stunde. Endlich fand Pfitzer für Philadelphuszweige 4,5 m und für Amaranthus 6 m für die Stunde (a. a. O.).

Mit Berückſichtigung der Verzögerung feſter, im Waſſer gelöſter Theile, gegenüber der Geſchwindigkeit der Waſſertheilchen bei der Strömung, welche die Verdunſtung veranlaßt, kann man ſich mit Hilfe von verdünnten Anilinlöſungen einen raſchen Einblick in die Art der Strömung verſchaffen.

Schon Cotta[1]) wandte, um ſich über die Bewegung des Waſſers in dem Baume zu unterrichten, verdünnte Farbelöſungen an, in welche er abgeſchnittene Zweigſyſteme eintauchte, ſo daß durch die Verdunſtung die Löſung in den Zweigen aufſtieg. Dieſer Vorgang verläuft nach Beobachtungen, welche ich anſtellte, ſo, daß die Löſung ſehr bald, noch ehe ſie ihr Ziel in den verdunſtenden Blättern erreicht hat, ihres Pigmentes beraubt

---

[1]) Heinrich Cotta, Naturbeobachtungen über die Bewegung und Function des Saftes in den Gewächſen etc. Weimar. Hoffmann'ſche Buchhandlung. 1806. — Th. Hartig, Ueber Auffaugen gefärbter Flüſſigkeiten durch Steckreißer. Bot. Ztg. 1853. S. 617.

ist, weil dieses von den Wänden der durchströmten Zellen aufgenommen wird. Man kann daher aus dem Fortschreiten des Pigmentes nicht auf die Geschwindigkeit der Strömung schließen. Gerade dadurch aber ist zu den früheren Argumenten gegen die Bedeutung der Imbibition ein neues hinzugefügt. Was für die Farbetheilchen in Lösung gilt, muß selbstredend mehr oder weniger auch für jede Salzlösung gelten, deren Vordringen in dem Stromsystem man spectroskopisch verfolgen könnte (vergl. PFITZER a. a. O. S. 571).

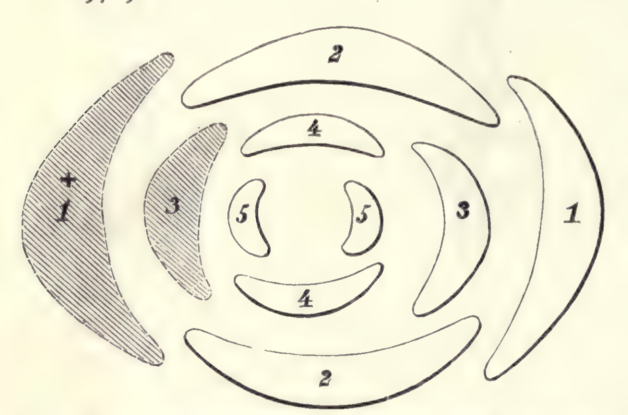


FIG. 424. Diagramm eines Ahornzweiges (schematisch), welcher in Anilinlösung gestellt verdunstete. Die schraffirten Blätter wurden abgeschnitten.

Die Tinction schreitet also jedenfalls langsamer vor wie die Wasserleitung. Sie erstreckt sich im Holzkörper des Stammes über die jüngeren Jahreslagen und im Blattnerven über die Gefäße und Tracheïden, sowie über die gegenüberliegenden Bastzellen, während das Cambium und die jüngsten Zuwachselemente mit geschlossenen Membranen ungefärbt bleiben. Nach mehreren Tagen rückt die Färbung in den Blättern unserer Waldbäume bis zu den Nerven des dritten und vierten Grades vor.

Die Resultate solcher Tinctionsversuche sind:[1])

1⁰ bei Zweigen, welche soeben in der Entwickelung begriffen sind, färben sich die älteren Blätter und Blattgefäßstränge, die jüngeren stärker verdunstenden nicht;

2⁰ nur die offenen, nicht die noch geschlossenen Spuren tingiren sich, die geschlossenen Cambiumzellen nehmen ebensowenig das Pigment auf (man vergl. Fig. 423);

3⁰ zuletzt breitet sich das Pigment von den letzten Nervenenden des Blattes über die Parenchymzellen des Mesophylles;

---

1) Bei der Herstellung solcher Anilintinctionen nimmt man verdünnte wässerige Lösung, stellt die Zweige so hinein, daß die Blätter rasch verdunsten. Es tingiren sich alle Röhrenelemente zuerst; man hat es in der Gewalt, beliebig starke Färbung und gradweise Abstufung für die histologisch verschiedenwerthigen Zellen zu erzielen. Niemand, der histologische Studien macht, sollte versäumen, seine Präparate so herzustellen; sie erreichen dadurch den Unterrichtszweck vollständiger.

4⁰ unterbricht man den Strom, indem man die Gefäßspur eines Blattes durchschneidet oder ein Blatt wegnimmt, so unterbleibt die Tinction.

In der Fig. 424 ist das Diagramm eines Zweiges dargestellt, in welchem die schraffirten Blätter entfernt wurden, ehe der Zweig, in verdünnte Anilinlösung gestellt, verdunstete. Die Folge davon war, daß alle Spuren, welche nach den Blattstielen abgeschnittener Blätter hinführten, im Stamm nicht tingirt wurden. So kann man es erreichen, daß das Pigment nur an einer Seite des Zweiges in die Gefäßbündel eingelagert wird (Fig. 425).

Die bewegenden Kräfte bei der Fortleitung sind so vertheilt, daß die Hauptspuren stets den stärkeren Strom, die Seitenspuren den schwächeren unterhalten. Dieß gilt auch für die einzelnen Gefäßspuren in dem Blattstiel und der Blattfläche:

an einem Zweigabschnitt des Ahorn wurden vier Blattwirtel untersucht, nachdem der Zweig 4 Stunden bei 24,5⁰ C. in einer Anilinlösung stehend verdunstete.

Der Blattstiel besitzt 5 Hauptspuren, Fig. 426 *III,* und zwischen diesen zahlreiche Nebenspuren, Fig. 426 *I, II.* Man erkennt aus der Figur, daß in dem Maße, wie man sich von dem ersten nach dem zweiten u. s. f. Wirtel bewegt, die in der Figur schwarz verzeichnete Tinction der Spuren verschwindet. Im zweiten Wirtel sind die kleinsten Spuren *1* nicht tingirt, sodann verschwinden die mit *3* bezeichneten. Im dritten Wirtel sind nur die 5 Hauptspuren, — im vierten nur die 3 in der Mediane liegenden Hauptspuren gefärbt.

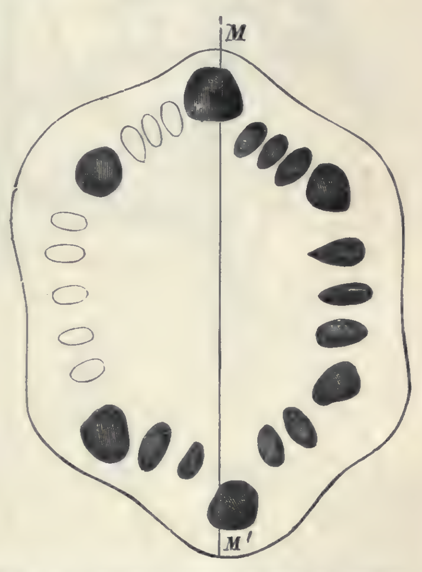


Fig. 425. Diagramm eines Ahornzweiges, welcher in Anilinlösung stehend verdunstete. Die schraffirten Orte sind die Gefäßbündel, welche sich tingirten.

Versuch.

In ganz ähnlichem Sinne verlief ein Versuch mit einem saftigen Zweig von Salix Caprea, welcher 8 bis 10 Blätter besaß. Von unten nach oben wurde je das dritte Blatt abgeschnitten, der Querschnitt des Stengels stund in verdünnter Anilinlösung, nach 3 Tagen bei einer mittleren Temperatur von 20⁰ C. waren tingirt:

in dem untersten Blatte alle 3 Spuren. In dem zweiten Blatte die rechte Spur tingirt, die beiden linken nicht. In dem dritten Blatte die

zwei linken Spuren, die rechte nicht. In dem vierten Blatte keine Spur tingirt. In dem fünften Blatte die beiden rechten tingirt. In dem ſechsten bis achten Blatte keine Tinction.

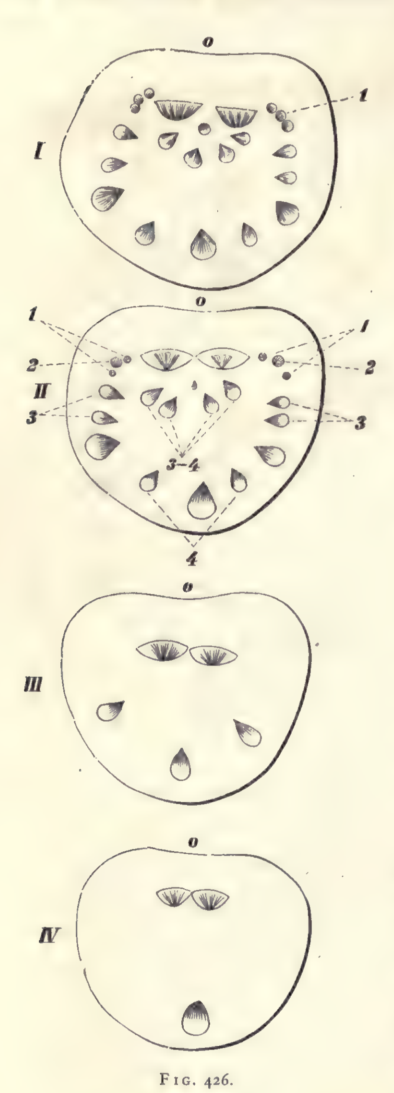


Fig. 426.

Genau ſo wie das Abſchneiden einiger Blätter, ſo wirken diejenigen Blätter an einem in der Entwickelung begriffenen Zweige, welche die Pigmentlöſung nicht direct in ihren Nerven leiten. An dem Zweig der Caſtanea befinden ſich auf 30 cm von der Spitze drei in der Entwickelung befindliche verdunſtende Blätter, in deren Fläche die Leitung nur auf dem Wege der Osmoſe vor ſich geht. Die Folge davon iſt, daß bis zu dieſer Länge, von der Spitze gerechnet, die Tinction in den direct in die beſagten Blätter einmündenden Gefäßbündel des Stammes unterbleibt.

7. Bewegung in den Nervenenden des Blattes.

Das parenchymatöſe Leitgewebe der Blattnerven der dritten bis vierten Ordnung, welches dem Baſtparenchym der Rinde entſpricht, iſt reich an Niederſchlägen colloidaler wie kryſtalliniſcher Körper. In einigen Zellenketten findet man auf millimeterweite Strecken jede Zelle von einem Kryſtall von oxalſaurem Kalk ausgefüllt. Das Netzwerk von Nerven in dem Blatte der Eiche, Buche und Pappel endet mit wenigen Tracheïden in dem Nerv der letzten Ordnung zwiſchen den Parenchymzellen des Meſophylles. Bei der Pappel enden die Nerven letzter Ordnung blind.

Nach den Tinctionsverſuchen und mit Berückſichtigung der hiſtologiſchen Verhältniſſe liegen hier die äußerſten Enden des Stromes, welchen wir in den vorhergehenden Schilderungen (S. 449) verfolgt haben. Nach den letzten Verſuchen ergiebt ſich, daß aus den Enden der Nerven, Fig. 427, tropfbares Waſſer nach den Inſeln zwiſchen den Nerven diffundirt oder ausfließt. Die allmälige Tinction

der Wände der Parenchymzelle weiſt darauf hin, daß eine ganz dünne Waſſerſchicht von den Nerven aus ſich über die Grenzzellen der Intercellularräume ausbreitet.

Da das Maſchenwerk der Fig. 427 nach allen Seiten Waſſer in die angrenzenden Parenchymzellen transpiriren läßt, oder da an jeder Seite eines Nervenſtranges osmotiſche Proceſſe ſich abſpielen müſſen, ſo iſt von Intereſſe zu wiſſen, wie groß die Länge der Ufer iſt auf eine gegebene Fläche. Die Fläche *a b c d* beträgt 0,246 qmm, in ihr iſt die Geſammtuferlänge des Netzwerkes der Nerven gleich 4,7 mm. Auf einen Quadratmillimeter kommt ſomit eine Uferlänge von 19,1 mm. Auf einen Millimeter der Ufer kommen im Mittel 28 parenchymatöſe Grenzzellen. In dem Durchmeſſer der kleinſten Inſel von Parenchym liegen mindeſtens 5 und höchſtens 13 Zellen.

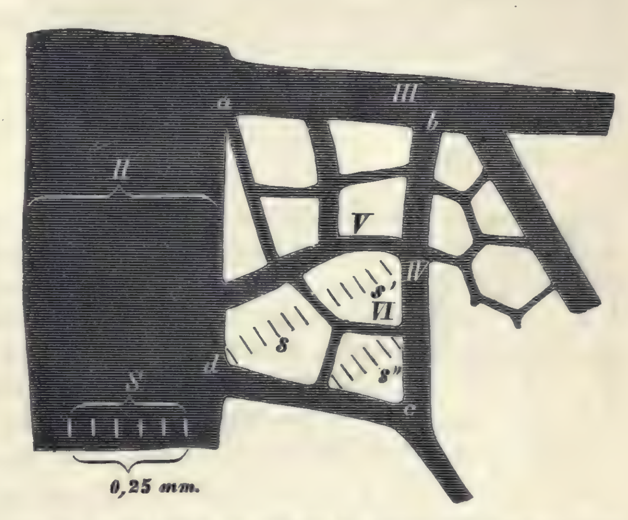


Fig. 427. Kleine Parthie aus dem Blatte der Caſtanea vesca, enthält die Nerven bis zu denjenigen der ſechsten Ordnung, von der zweiten Ordnung ab bei 60-facher Vergrößerung. Die Scale *S* umfaßt 0,25 mm. Die Scale *s s'* aber giebt den Durchmeſſer derjenigen Parenchymzellen an, welche in den Maſchen des Nervenſyſtems *II*, *III* bis *VI* enthalten ſind. Vergr. 60/1.

In letzter Linie ſind alſo in unſerem Syſteme, von einem gegebenen Punkte des Ufers gerechnet, 6 bis 8 Zellen durch Transpiration zu bewäſſern, wenn man von allen Punkten der Ufer geradlinige Ströme nach dem Mittelpunkt der Inſeln gelegt denkt.

8. Einfluss der Verdunstung.

Wenn Jemand nach den vorſtehenden Erörterungen phänologiſcher und phyſikaliſcher Natur zu dem Schluſſe kommt, draußen im Freien im Culturland, Wald und Wieſen wachſen die Pflanzen, verdunſten und heben durch die Verdunſtung ungeheure Waſſermengen, welche der Pflanze feſte Beſtandtheile aus dem Boden zuführen und dort nach und mit der Verdunſtung zurückbleiben, und hieraus auf die allgemeine Bedeutung der Verdunſtung eine Theorie der Ernährung gründet, ſo hat er Recht und Unrecht. Recht, inſofern ſeine Theorie für alle Landpflanzen gilt, während

ſie für alle untergetauchten Waſſerpflanzen keine Anwendung findet. Unbedingt aber hat derſelbe Unrecht, wenn er glaubt, die Verdunſtung vermöge uns den ſtetigen Vorgang der Waſſerleitung in einem Baume zu erklären.

Die Verdunſtungsgrößen der Membran und der Blattflächen wurden ſchon oben S. 220 (§ 25 C) abgehandelt, in dem Nachfolgenden möge eine Zuſammenſtellung der Verſuche und Betrachtungen folgen, welche uns die Bedeutung der Verdunſtung für die Ernährung des Baumkörpers darlegt.

Verſuch.

Ein 5 m hoher Birkenſtamm wurde im Juli wenige Decimeter über dem Boden abgeſägt, ſofort in Waſſer geſtellt in einem geſchloſſenen Treppenhaus, in welchem er einſeitig mit directem Sonnenlicht während 2 bis 3 Stunden, ſonſt mit diffuſem Licht beſtrahlt iſt. Der Stamm iſt bis 3,5 m aſtrein und ſteht in voller Belaubung. Er nahm in den erſten 12 Stunden 1,85 l Waſſer auf. In den nächſten 12 Stunden aber nur 0,35 l, am zweiten Tage 0,13 l, nach wenigen Tagen war die Aufnahme von Waſſer verſchwindend klein. Die Symptome des Abſterbens traten ſchon am dritten Tage ein. Sie ſind genau dieſelben, welche der Baum im normalen Leben draußen im Freien, dort aber im Zeitraum von vielen Jahrzehnten zeigt. — Zuerſt vergilbten alle Blätter an der Schattenſeite. Das Vergilben trat nach dem Licht zuerſt an den Innenſeiten, zuletzt an der Außenſeite der Zweige auf. An jedem Aſte vergilbten zuerſt die unteren beſchatteten, zuletzt die oberen, belichteten Blätter. Nach fünf Tagen wurde der Baum geſchüttelt, die welken Blätter fielen, er hatte ſich gereinigt an allen Innenſeiten der Aeſte, und nur hie und da an der Außen-(Licht-)ſeite, ſowie an den Zweigſpitzen ſtunden grüne Blätter.

Zu gleicher Zeit mit dem Beginn dieſes Verſuches wurde ein herrſchender Aſt mit vier Ordnungen abgeſchnitten, in Waſſer an ein Südfenſter geſtellt und erhielt ſich dort während der ganzen Verſuchszeit vollſtändig normal.

Ein 6 m hoher außerordentlich reich verzweigter, belaubter Ahorn (Acer Negundo) wurde im Auguſt 1876 in eine verdünnte Anilinlöſung geſtellt, in gleicher Weiſe einſeitig beleuchtet. Nach 24 Stunden ſchon war das Vergilben an allen denjenigen Zweigen eingetreten, welche ihrer Lage gemäß ſchon draußen im Freien tiefer im Schatten ſtanden. Ueber Nacht alſo zeigte ſich hier, daß die Blätter durchaus verſchiedene Widerſtandskräfte gegen den ſchädlichen, durch das Experiment veranlaßten Wechſel in den äußeren Lebensbedingungen mitbrachten. Nach 8 bis 10 Tagen zeigte der Baum, nachdem er geſchüttelt war, die wenigen grünen Blätter genau ſo vertheilt wie die nach der natürlichen Reinigung übrig bleibenden Aeſte. Nach 14 Tagen wurde der Stamm von der unteren Wundfläche

her gefpalten, um die Länge der Anilinbahn zu meffen. Er befaß 6 Jahrringe. In einer Entfernung von 2,3 mm von der Wundfläche war das Pigment gleichmäßig in die Membranen imbibirt. In der Längsrichtung waren 70 rothe Streifen, entfprechend den weiteren Gefäßröhren, auf einer Entfernung von 6 cm kenntlich, 14 cm von der Wundfläche waren nur die 4 äußerften Jahreslagen, 22 cm von der Wundfläche war nur die laufendjährige Zuwachsfchicht tingirt.

9. Die Verdunstungsgrösse verschiedener Bäume.

Die Verdunftungsgröße verfchiedener Waldbäume wird beftimmt, indem man in gleichgroßen Gefäßen oder an U-förmigen Röhren bei gleicher Temperatur kleine beblätterte Zweige verdunften läßt. Die Waffermenge wird durch Wägung beftimmt, die Blattflächen werden auf Papier von gleichem Gewicht übertragen, die Relation der Flächen wird durch Wägung der Papierabdrücke beftimmt.

	Verdunftung.	Verdunftung auf die Flächeneinheit. 100 qcm.
Hainbuche	2,55 ccm.	4,357 ccm.
Birke	2,65 »	3,651 »
Eiche	3,15 »	2,891 »
Buche	4,15 »	3,495 »
Pappel	2,45 »	2,422 »
Erle	3,55 »	**7,956** »
Weide	3,00 »	4,222 »

So zeigt die Erle von naffem Standorte die Verdunftungsgröße 7,956 gegenüber der Eiche mit nur 2,891.

Es wurde fchon oben bei der allgemeinen Betrachtung der im Baumkörper herrfchenden Ströme darauf hingewiefen, daß der durch Jahre und Jahrzehnte anhaltende Verkehr zwifchen dem Waffer aufnehmenden Wurzelfyftem und den beblätterten Zweigen nur denkbar und erklärlich wird dadurch, daß in den Blättern die Körper entftehen, welche von hohem osmotifchem Aequivalent rückwärts über das Syftem vertheilt werden und dadurch mindeftens in einer Schicht (der Zuwachsfchicht) ununterbrochene Wafferbahnen unterhalten. Wir fehen fomit diefen osmotifchen Ausgleich als die letzte Betriebskraft an. Directe und letzte Urfachen der Bewegung können nicht fein:

1⁰ die Diffufion des Waffers und der Löfungen, welche durch den Sättigungsunterfchied in verfchiedenen Theilen der feften Cellulofemembranen entfteht;

2⁰ ein hydroftatifcher Druck, welcher Wafferfäden auf weite (Meter lange) Strecken in den Röhren des Holzes fortbewegt.

Von dem Satze unter 2⁰ machen nun aber felbftredend alle diejenigen Zellen und Gewebearten eine Ausnahme, welche mit Flüffigkeiten gefüllt find, welche ein hohes osmotifches Aequivalent befitzen, dahin gehören:

1 ⁰ die Leitzellen in den jüngeren Zuwachsſchalen der Rinde, ehe ſie durch den Druck, unter welchen die Rinde durch den Holzzuwachs geräth, collabiren;

2 ⁰ die Zellen der Rinde, welche transitoriſche Stärke, Zucker und Salz führen;

3 ⁰ die Zuwachsſchale des Holzkörpers, deſſen Zellen im Beginne geſchloſſen, mit Protoplasma und Kohlehydraten gefüllt ſind.

Von allen dieſen Geweben aus muß in der Längs- wie in der transverſalen Richtung, gerade durch die Verdunſtung verſtärkt, ein osmotiſcher Strom herrſchen, welcher den Unterſchied in der Dichte der Löſungen, der in kleinen Entfernungen von Zelle zu Zelle entſtanden iſt, ausgleicht. Wir können nun die Geſammtheit der Proceſſe, welche ſich während der Evolution der beblätterten Zweige für eine Periode abſpielen, nur überſchauen, wenn wir die einzelnen Vorgänge im Innern des Baumes zuſammenſtellen mit den äußerlich ſichtbaren. Ehe ich in dieſe Discuſſion eintrete, muß ich aber dringend auf die folgenden Verhältniſſe aufmerkſam machen:

1 ⁰ die Entſtehung des jungen Blattes iſt ſelbſt ein Vorgang, in welchem colloidale Maſſen zuerſt aufquellen, um ſpäter zu erhärten; während das Blatt wächſt und eine Reihe von Figuren durchläuft, wie ſie mit den zugehörigen Verdunſtungsgrößen in Fig. 208 (ſ. oben) dargeſtellt ſind, müſſen alle Gewebe des Blattes und des wachſenden Zweigſtückes waſſergefüllt ſein;

2 ⁰ in der Mitte der Verdunſtungsperiode am 3. Auguſt ſelbſt enthalten die zwei- bis dreijährigen Zweige in der Reihe der wichtigſten Waldbäume nicht unter 38 % und nicht über 58 % Waſſer;

3 ⁰ bei den periodiſch beblätterten Laubbäumen beſitzt der waſſergefüllte Zuwachs an leitendem Gewebe, das iſt der erſte während der Entwickelung der Blätter entſtehende Jahrring, die größte Maſſe in dem einjährigen Zweige. Somit iſt gerade während des Maximums der Verdunſtung die letzte Strecke der Strombahn, der einjährige Zweig bis vor den Blattſtiel ein waſſergefülltes Zuwachsgewebe, welches mit der entſprechenden waſſergefüllten Zuwachsſchicht der Zweige niederer Ordnung, des dominirenden Aſtes, des Stammes und ſo fort, und in umgekehrter Reihenfolge durch das Zweigſyſtem der Wurzel bis zum einjährigen Zweig dieſer letzteren in Verbindung ſteht;

4 ⁰ die Gefäßbündel nun, welche endlich aus dem dießjährigen Zweige in das Blatt ausbiegen, entſpringen von der inneren Fläche des Holzcylinders dieſer Zuwachsſchale;

5 ⁰ verfolgen wir nun über das geſammte Wurzel- und Stammſyſtem die Waſſertheilchen, welche am Wurzelhaar oder in der Nähe der Spitze einer äußerſten Wurzelauszweigung eintreten, bis zu dem Orte, wo ſie als Dampf aus der Epidermis des Blattes in die Atmoſphäre eilen, ſo erhalten wir die folgenden Proceſſe.

Wir können in dem Nachfolgenden die weſentlichen Züge der Entwickelung und der groben Anatomie in der ſchematiſchen Fig. 408 zuſammenfaſſen: Ueber dem Niveau des Bodens *N* befindet ſich der Durchſchnitt des Zweigſyſtems für fünf Jahre. Die conſecutiven Jahreslagen ſind wechſelnd ſchraffirt und weiß gehalten. Die römiſchen Zahlen geben das Ende der Hohlkegel an, über welche die Jahreslagen des Holzzuwachſes ſich erſtrecken. In jedem Jahre ſoll ein Haupttrieb und ein dazu gehöriger Seitenſproß gebildet ſein. Der letzte Trieb *4* bis *5* iſt eben im Begriff, den erſten Jahrring zu bilden. Unter dem Niveau *N* iſt das Syſtem der Wurzel mit denſelben conſecutiven Jahreslagen dargeſtellt.

Im großen Ganzen dürfen wir annehmen, daß die conſecutiven Jahresholzlagen ineinander geſchachtelte Kegel ſind, von welchen je ein jüngerer (ſpäter entſtandener) das Convolut der vorhergehenden um die Länge eines Jahrestriebes überragt. Treten nun Waſſertheilchen mit den Pfeilen *a*, *a'* an den äußerſten Auszweigungen in

das Syſtem ein, ſo iſt dieß ein osmotiſcher Vorgang. In dem osmotiſch geſpannten Gewebe der jüngſten Zuwachsſchicht des Wurzelſyſtemes werden die eingetretenen Waſſertheilchen nach zwei Richtungen fortgeleitet:

1⁰ in longitudinaler mit dem Pfeil *A* und

2⁰ in transverſaler mit den Pfeilen *b*, *b'*, *b''* u. ſ. f.

Die erſtere Leitung iſt ebenfalls ein osmotiſcher Vorgang, die letztere ſtellt man ſich als eine Filtration vor, welche durch den in den osmotiſch geſpannten Zellen herrſchenden hydroſtatiſchen Druck bewirkt wird. Die Filtration in transverſaler Richtung führt die Waſſertheilchen in ältere Jahreslagen des Holzkörpers, zunächſt der Wurzel und des Stammes, wo ſie zum Theil imbibirt, jene Schwankung des ſogenannten Trockencylinders bewirken, auf welche zuerſt Nördlinger und Lauprecht aufmerkſam gemacht haben, ſodann in longitudinaler, wo ſie durch Adhäſion an den Wänden fortgeleitet werden. Nach Pfitzer's Auffaſſung bewegt ſich das Waſſer in dem continuirlichen Röhrenſyſtem der jüngeren Holzlagen als eine dünne Schicht auf der Innenſeite der Gefäße und Tracheïden, welche der Innenſeite dieſer Röhren anhaftet und alle Hohlräume auskleidet, mit außerordentlicher Geſchwindigkeit.

Die Richtigkeit dieſer Anſchauung zugegeben, muß immerhin darauf aufmerkſam gemacht werden, daß dieſe Bewegungsart allein die hierher gehörigen Phänomene nicht vollkommen und nicht alle beherrſcht; mehr noch, ſie wird über das ganze Syſtem ohne die in jedem Punkte einer beſtimmten Schicht herrſchende osmotiſche Spannung ſelbſt unmöglich.

Wenn die Waſſertheilchen unter dem Einfluß der Osmoſe und des Filtrationsdruckes in tiefere Lagen des Holzconvolutes der Hauptwurzel eingedrungen, nun unter dem Einfluß der Flächenwirkung in der Längsrichtung fortſtrömen, ſo herrſcht für dieſelben offenbar der geringſte Widerſtand in der Richtung der Jahreslage des Holzes, in welcher ſie ſich befinden. Die Länge dieſes Hohlkegels aber reicht nicht bis zur Verbrauchsſtätte in den Blättern.

Nehmen wir an, es wären unter dem vorbeſprochenen Filtrationsdruck eine Anzahl Waſſertheilchen mit dem Pfeil *b* bis in das innerſte Convolut gedrungen, eine andere Anzahl mit *b'* bis in die nächſtfolgende Jahreslage des Holzes u. ſ. f., ſo werden die in *b* offenbar unter dem Einfluß der Längsbahnen nur bis zum Niveau *I*, die in *b'* bis zum Niveau *II* im Stamme fortgeführt, und nur diejenigen Theilchen, welche in der äußerſten Schale, Pfeil *b'''*, befindlich ſind, beſitzen eine bis zum einjährigen, beblätterten Zweige continuirliche Schicht der Leitung. Dieſe letztere Schicht aber iſt nichts anderes, wie die während der Verdunſtungsperiode entſtehende waſſergefüllte Zuwachsſchicht, die einzige, welche das ganze Syſtem bis zu den Blattſtielen gleichmäßig überzieht. Wir ſehen ſomit leicht ein, daß je tiefer jene durch Flächenwirkung der Membranen fortgeführten Waſſertheilchen in einem gegebenen Querſchnitt der Hauptwurzel oder des Stammes befindlich ſind, um ſo weiter iſt das Ende der Bahn in der Längsrichtung von derjenigen waſſerführenden Schicht entfernt, welche mit dem Orte der Verdunſtung in unmittelbarer Verbindung ſteht. Es läßt ſich nun freilich annehmen, daß dieß kein abſolutes Hinderniß für jene Translocation ſei, da ja die älteren Jahreslagen ſeitlich durch Poren und Tüpfelporen communiciren, ſo daß, wenn jener Strom in dem älteſten Jahrring angekommen iſt, er ſeitlich in den nächſtjüngeren eintreten muß, um in ein nächſthöheres Niveau zu gelangen.

Nichtsdeſtoweniger verdient dieſe auf die Quincke'ſchen Verſuche ſich ſtützende Theorie die ernſteſte Beachtung, weil aus dem Verſuche hervorgeht, daß die ſupponirten Waſſerhohlröhren ſich mit großer Geſchwindigkeit fortbewegen. Für die einjährige Pflanze,

in welcher die Geschwindigkeit der Strömung eine größere Rolle spielt, wird die Theorie jedenfalls eine größere Anwendung finden als für den Baum.

Die Filtration des Wassers (oder der Lösung plastischer Körper) aus der peripheren, während der ganzen Vegetationsperiode wassergefüllten und osmotisch gespannten Zuwachsschicht in das Röhrensystem der älteren Holzlagen zugegeben, wird man vor Allem beachten müssen, daß die Bedingungen für dieselbe über das ganze System von der Wurzel bis zum einjährigen beblätterten Zweig vorhanden sind, und daß der Filtrationsstrom dort am stärksten ist, wo die osmotisch wirksamen Körper entstehen. Dieser Ort ist aber gerade das periphere Zweigsystem. Es bleibt somit die Osmose die letzte Betriebskraft, selbst dann, wenn man den mehr- und vieljährigen Betrieb ganz außer Betracht läßt, und das System nur für einen kleinen Zeitraum, aber einige Tage lang während der Zeit der Verdunstung in's Auge faßt. Wenn Jemand behauptet, die Osmose sei ein so langsam verlaufender Proceß, daß er nicht die Wassermasse zu decken vermöge, welche in wenig Tagen in der Krone des Waldbaumes abdunstet, so ist darauf zu erwidern, daß es sich gar nicht um das Phänomen handelt, welches sich an einer künstlichen Membran abspielt, sondern daß hier in jeder Zelle Druckkräfte in's Spiel kommen müssen.

Wir behalten im Auge, daß während der unter 5⁰ geschilderten Vorgänge über das ganze System (und während der ganzen Periode der Verdunstung) sich abspielen:

1⁰ das Wachsthum der Zweige und Blätter, welches gleichzusetzen ist einer Translocation gelöster Kohlehydrate durch unzählige bereits vorhandene Cellulosemembranen (April, Mai, Juni);

2⁰ die Translocation der Stärke in der Rinde. Dieß ist ein Vorgang, bei welchem an dem erwachsenen Baum viele Pfunde fester Masse so in Bewegung gesetzt werden, daß das vielfache Gewicht Wasser über das ganze System der Strombahnen ausgetauscht wird;

3⁰ die Translocation der Stärke in die älteren Holzlagen (s. weiter unten);

4⁰ die Anhäufung fester Masse in den Knospen der im laufenden Jahr entfalteten Blätter als Blatt- und Knospenanlagen für das nächste Jahr;

5⁰ der Verbrauch des vorjährigen Stärkevorrathes und eines Theiles des dießjährigen durch die Bildung fester Membranen, ein Proceß, in dem für das ganze System wiederum viele Pfunde fester Substanz in Austausch gerathen gegen eine viel größere Wassermenge. Durch diesen Vorgang wird das ganze System mit allen Auszweigungen von Stamm und Wurzel gleichmäßig in eine neue feste Schale eingehüllt. In jedem Punkte des Stromsystems muß ein osmotischer Austausch von Wasser gegen feste gelöste Substanz erfolgen.

Werfen wir endlich einen Blick auf die anatomische Struktur des Laubzweiges während seiner Entwickelung. Fig. 293, S. 303, zeigt eine Reihe von Querschnitten durch den in der Entwickelung begriffenen, schon beblätterten Zweig von Populus laurifolia. Die Prismenstücke zwischen den Querschnitten *A, B, C* tragen die Blätter, in allen Phasen der Entfaltung. Vergrößern wir eines der Gefäßbündel in dieser Reihe, so erhalten wir die Figurenreihe Fig. 294, 295. Während die Gefäßbündel, welche in die Blätter eintreten, die Entwickelungsreihe Figur 294 v v', Figur 295 v bis v''' durchlaufen, sind die Blätter noch in der Entwickelung begriffen und verdunsten. Alle tiefer wie der Querschnitt (Fig. 293 *C*) im zweijährigen Theile belegenen Stammstücke sind blattlos und verdunsten schwach.

Indem wir die anatomische Entwickelungsgeschichte in dem Zweig der letzten Ordnung studiren, gewinnen wir einen Einblick in die Wirkung der Osmose in derjenigen äußersten Schale der Krone und jedes dominirenden Astes, welche hauptsächlich für das

laufende Jahr durch ihre Verdunftung in Betracht kommt. Alle Zellen in den erften beiden Abbildungen müffen waffergefüllt und osmotifch gefpannt fein. In der Gruppe *a b* Fig. 294 *B* differenziren fich die Tracheïden *v*, die Zellen des primären Cambialftreifens find in der Theilung begriffen. Nach diefem Uebergang find zwei Gruppen von Baftbündeln gebildet, eine an der Markgrenze, die andere in der Rinde *p* und *p'*; *v'* die letzten Tracheïden in dem Strahl *v v'*, Fig. 294 *A*. Der Cambialftreifen *c c'* hat den primären Markftrahl noch nicht überbrückt. Die fünf Kanten an der Oberfläche des prismatifchen Zweiges *K K'*, Fig. 293, entfprechen den fünf Hauptbündeln, welche als mediane Spuren in die Blätter traten. In den Kanten werden fpäter vorfpringende Korkleiften gebildet. Das Syftem diefer Korkleiften ift jenes Mafchenfyftem in dem aufgewickelten Cylinder Fig. 298. Bei der hier abgehandelten Pappel bleibt dasfelbe mit den Blatt- und Zweignarben mehrere Jahre an der Rinde erhalten.

In dem Uebergang *B* nach *C* Fig. 293 vollzieht fich die Ueberbrückung der fehr fchmalen Markftrahlen. Der Cambiumring fchließt fich. Auf die primären Strahlen *v v' v'''*, Fig. 295, hat fich der Holzzuwachs gelagert. Die cambiale Zuwachsfchicht ift weiter hinausgefchoben (*c* in derfelben Figur). Ich habe in diefer Figur eine folche Partie gewählt, welche ein primäres Kantenbündel (Medianbündel für das Blatt) und mehrere Zwifchenkantenbündel enthält. Die Lage diefer letzteren ift durch zwei von *e''* ausgehende punktirte Linien bezeichnet. Beachtenswerth ift nun, daß der fecundäre Zuwachs im erften Jahre fich nicht gleichzeitig in demfelben Niveau über die Kanten- und Zwifchenkantenbündel ausbreitet. Die Schale *x* breitet fich über die vier Strahlen (*v v'''*) aus, fpringt dann nach innen bis zur inneren Grenze der Zwifchenkantenbündel (zwifchen den punktirten Linien *e e'*), welche zur Zeit diefer Beobachtung außen noch an cambiale Zuwachselemente grenzen.

Wenig tiefer wie das Niveau, in welchem diefe Configuration herrfcht, find wir in dem fehr kurzen Cylinderftückchen der Niederblattregion, deren Blätter an unferem wachfenden Sproß wenige Tage vor dem Beginn diefer Entwickelungsgefchichte hinfällig wurden. Aus diefer Region ftammen die Bündel *p'*, Fig. 294, und noch tiefer ift die der vorliegenden Entwickelungsgefchichte entfprechende Laubblattzone des zweijährigen Zweigftückes. Da die Interfolien im Zweigftücke der Niederblattregion kürzer find, die primären Gefäßbündel dem entfprechend in ftärkeren Krümmungen verlaufen, fo muß fie für einen Strom aus dem zweijährigen nach dem einjährigen Stammftück wie ein plötzlicher Widerftand verzögernd auf die Stromgefchwindigkeit wirken.

Bei jeder folchen Entwickelungsgefchichte von wachfenden Sproffen, wie die vorftehende, deren es in der botanifchen Literatur, zu einem anderen Zwecke freilich ausgeführt, wie der hier angeftrebte, viele giebt, mußte fich der betreffende Forfcher fagen, wenn er überhaupt eine phyfikalifche Betrachtung in die Entwickelungsgefchichte einführte:

1° damit eine der Zellen in der Gruppe *a b*, Fig. 294 *B*, fich ausdehne zu dem Volum *v v'* u. f. f., mußte ein hydroftatifcher Druck auf die Membran wirkfam fein, welcher zwar experimentell nicht beftimmt werden kann. Denkt man fich aber die Feftigkeit und Dehnbarkeit in einer der genannten Zellen von denjenigen in gleich großen Kautfchukröhrchen, fo wird einem dieß Verhältniß hinlänglich vorftellig, um für die hier aufgeftellte Erklärung zugänglich zu werden. Diefer Druck muß in der Entwickelungsreihe *A B C* wachfen, weil die Widerftände mit der Wandftärke wachfen. Seine Entftehung aber ift ohne einen osmotifchen Strom gar nicht denkbar;

2° damit die fefte Maffe in demfelben Uebergang auch nur in die Orte gefördert werde, welche wir mit *v v'* u. f. f. bezeichnet, müffen Druckkräfte auf die Zellenräume vorausgefetzt werden, gegen welche jene unter 1° genannten verfchwindend klein find.

Das Endvolum einer Tracheïde zeigt eine 56fache Vergrößerung des cubiſchen Inhaltes des Anfangsvolumes.

Dieſe Umgeſtaltung in der Vertheilung der feſten Maſſe würde noch auffälliger hervortreten, wollte man die Wandſtärke der einzelnen Zellen mit berückſichtigen. Sie vollzieht ſich in der äußeren Schale der Baumkrone da, wo ſoeben die Knoſpen in die Streckung gerathen, ſie iſt ganz unabhängig von der Höhe, indem ein Niveauunterſchied auf ſie keinen merklichen Unterſchied in der Anlagerung der Maſſe in die Hohlräume zur Folge hat. Bei dieſer ganzen Gliederung handelt es ſich aber lediglich um osmotiſchen Austauſch. Es iſt ſomit mindeſtens der Nachweis geführt dafür, daß jeder Waſſerſtrom, wenn er nach dem Orte der Verdunſtung gelangen ſoll, in dem letzten Theile ſeiner Bahn ein osmotiſcher ſein muß. Mindeſtens bis zum Blattſtiele haben wir den Strom verfolgt, denn wir können in dem Schema, Fig. 408 einen der Endzweige (*4* nach *5* etwa) als Blatt, den anderen als Zweig gelten laſſen. Endlich aber ſoll die größtmögliche Einſchränkung für die vorſtehende Theorie gemacht werden; wir haben nämlich in dem Vorſtehenden ſchon deßwegen eine Beſchränkung ihrer Zuläſſigkeit eingeführt, weil wir den laufenden Zuwachs im verdunſtenden einjährigen Zweige gar nicht in die Betrachtung hereinzogen und uns lediglich auf die Evolution der primären Gefäßbündel beſchränkten. Es möge nämlich der Zeitraum in Betracht gezogen ſein, wo in dem einjährigen Zweige der laufendjährige Zuwachs beendet iſt. Die primären Bündel *v*, *v''*, *v'''*, Fig. 295, welche nach den Blättern führen, liegen jetzt von dem waſſerreichſten Gewebe, der cambialen Zuwachsſchicht *c c'* (dieſelbe Figur) am weiteſten entfernt. Alle Hohlräume haben ihre größte Ausdehnung erreicht, auch das Blatt iſt vollſtändig ausgewachſen. Die Differenzirung in Fig. 293 *A* beginnt jetzt in der geſchloſſenen Knoſpe, welche ſich im nächſten Jahre entfalten wird. Von jetzt ab (Juli, Auguſt, September, October) wird die Osmoſe in der Strecke von der Blattbaſis bis zur Blattfläche nicht direct wirkſam ſein können. Die Leitbündel *v* bis *v'''* im Zweige und im Blattſtiele, ſowie die Hauptnerven erſter bis zweiter, bis dritter Ordnung werden zum Theil nur mit Waſſer, zum anderen Theil mit Luft gefüllt ſein können, ſo viel aber iſt klar, daß wenn in *v*, *v''*, *v'''*, Fig. 295, überhaupt tropfbares Waſſer iſt, dieß nur von der äußeren Zuwachsſchale durch Transpiration dorthin gelangt ſein kann.

---

§ 37. Assimilation[1]).

Das Weſen der Aſſimilation beſteht darin, daß die Körper der Medien, welche die Pflanze umgeben: Waſſer, Kohlenſäure, Ammonſalze, Salpeterſäureſalze und die gelöſten Verbindungen, welche aus der feſten Erdmaſſe ſtammen, die Phosphorſäure, Schwefelſäure, kieſelſaure Salze des Kalium, Natrium, Calcium, Magneſium u. ſ. f., an beſtimmten Orten in der Pflanze vereinigt, ſo im chemiſchen Sinne zuſammengelagert werden, daß die Endproducte der Zerſetzung zu Körpern werden, welche dem Pflanzenkörper ähnlich ſind.

---

[1]) Dr. Reinke, Ueber einige biolog. Verh. der Corallorrhiza innata. Niederrhein. Geſellſch. für Natur- und Heilkunde. 17. Febr. 1873.

Wenden wir uns zunächst zur Betrachtung der Vorgänge, welche an der Pflanze mit der Assimilation in der Zeit parallel laufen, so ist zu beachten, daß die Aufnahme der oben genannten Rohnährkörper, die Verdunstung und die Translocation oder Fortleitung der Assimilationsproducte Vorgänge sind, welche mit unserem Proceß in denselben Zeitgrenzen sich abspielen, daß sie somit auf diesen zurückwirken, ebenso wie die Assimilation und die Translocation letzte Ursachen für die Verdunstung sind, insofern ohne diese Vorgänge ein nach dem Boden gerichteter Strom nicht unterhalten wird.

Es sind somit die Leitung von dem Boden aus nach den verdunstenden Blättern und die Absorption der aus dem Luftocean in das Blatt tretenden Gase (*CO_2* und *O*), die Rückleitung der im Blatt gebildeten Assimilationsproducte (Zucker, Stärkemehl, Eiweiß) und der Zuwachs von Cellulosewänden an der Pflanze drei innig verbundene Bewegungsvorgänge, von welchen keiner für sich allein so vor sich gehen kann, wie in der complexen Zusammenwirkung [1]).

Sehen wir davon ab, daß die Vertheilung der Assimilationsproducte

---

[1]) Den Baum kann man sich zerlegt denken in Kettensysteme von Zellen, welche, zum Theil ununterbrochen mit Wasser gefüllt, von der äußersten Wurzel nach der äußersten Blattspitze osmotisch wirksam sind. In einem solchen Kettensystem von Zellen, welches wir uns unter das Niveau des Bodens verlängert und ähnlich gestaltet denken dürfen, kann auf die Dauer nur Bewegung entstehen auf zweierlei Weise:

1° durch einen Temperaturwechsel, der sich nur langsam von dem oberen nach dem unteren Pol der Kette ausgleicht;

2° durch einen steten Zuwachs an osmotischer Differenz, welche gewissermaßen durch das Blatt aus der Atmosphäre von außen aufgenommen wird.

Wenn wir die oberirdischen Theile eines Baumes für sich in einen Kegel oder Cylinder zusammengezogen denken, ebenso alle Wurzeln in einen zweiten Rotationskörper, welcher die Fortsetzung des ersten ist, so können wir diese in einem Sinne scharf unterscheiden:

1° der erste Kegel giebt Wasser ab, seine Spitze (allgemein seine oberen Theile) ist der verdunstende, der zweite ist der wasseraufnehmende Pol der Kette;

2° das plastische Material, welches in dem Kettensystem zeitweilig in Lösung oder in Niederschlagskörpern von Kohlehydraten, zuletzt in Gestalt fester Zuwachsringe entsteht, tritt an dem oberen Pol ein, und nicht an dem unteren. Messen wir die durch die Lösung dieses Materials entstehende osmotische Spannung durch die Anzahl der in der Volumeinheit befindlichen gelösten festen Theilchen, so finden wir den oberen Pol in steter oder periodischer Steigerung, den unteren in steter oder periodischer Minderung seiner osmotischen Spannung begriffen.

Wir nehmen nun, wie schon angedeutet, an, daß die letzte Ursache der Bewegung außer der Temperatur der Zuwachs an plastischem Material ist, daß ohne diesen Zuwachs im Blatte ein Zuwachs der festen Hülle ebensowenig wie eine Strömung in ihr denkbar ist, und erhalten: Der wirkliche endliche Zuwachs an osmotischer Spannung in der Kette ist von der Wurzel ganz unabhängig, deßwegen kann von der Wurzel niemals ein Zuwachs an stromerhaltender Kraft ausgehen.

in der verschiedensten Weise vor sich gehen kann, von dem Kürbis, welcher die größte Masse des in der Lichtperiode gewonnenen Stoffes an wenige riesenhafte Früchte, gegenüber dem Getreide, welches die Masse in kleine, aber zahlreiche Körner u. s. f. vertheilt, und sehen den Baum als einfachste Maschine deßwegen an, weil er in mehreren Jahren, Jahrzehnten die gewonnenen Assimilationsproducte hauptsächlich zu seiner eigenen Befestigung, zum Zuwachs an solcher Masse verbraucht, welche in ihm abgelagert capitalisirt wird, so kann gezeigt werden, wie viel von dem Volum der Zuwachsschale *n* aus dem Jahre *n*, und wie viel aus dem Jahre *n*—*1* stammt (s. Fig. 317) [1]).

Nennen wir zunächst *a* den mittleren Aschengehalt aller Theile, welche im Zeitraum *T* entstanden sind, *a'* den mittleren Aschengehalt des Wassers und *m* die im Zeitraum *T* entstandene Masse, so ist

$$Q = m \frac{a}{a'}$$

die Wassermenge, welche den Baum vom Boden aus durchströmte, nach der Atmosphäre verdunstete und die festen Theile zurückließ.

Ist ferner *c'* der mittlere Kohlensäuregehalt des Luftoceans, welcher mit dem Baum in Berührung trat und seine Kohlensäure an denselben abgab, *c* aber die Kohlensäure, welche aus der capitalisirten Masse entsteht, wenn sie vollständig verbrennt, so ist

$$Q' = m \frac{c}{c'}$$

---

[1]) **Literatur über die Wirkung des Lichtes auf die Pflanze.**

Dr. Wilh. Knop, Ueber das Verhalten einiger Wasserpflanzen zu Gasen. Leipzig. Leopold Voß. 1853. – Jos. Anton Böhm, Beitr. zur näheren Kenntniß des Chlorophylls. Wien. Hof- u. Staatsbuchdruckerei. 1857. Beitr. zur näheren Kenntniß des Pflanzengrüns. Separatabdr. aus d. Sitzungsber. d. k. Ac. d. Wiss. Wien. 1863. — J. Sachs, Ueber den Einfluß des Lichtes auf die Bildung des Amylums in den Chlorophyllkörnern. 365. Bot. Ztg. 62. Ueber den Einfluß des Tageslichtes auf Neubildung und Entfaltung verschiedener Pflanzenorgane. 1–30. z. Mo. 31–33. Bot. Ztg. 1863. Ueber die Auflösung und Wiederbildung des Amylums von Chlorophyllkörnern bei wechselnder Beleuchtung. 289. Bot. Ztg. 64. Wirkungen farbigen Lichts auf Pflanzen. 353. 61. 69. Bot. Ztg. 64. — Alex. v. Wolkoff, Einige Untersuch. über die Wirkung des Lichtes von verschiedener Intensität auf die Ausscheidung der Gase durch Wasserpflanzen. S. 1. Pringsh. Jahrb. Bd. V. 1866—67. — Dr. E. Askenasy, Beiträge z. Kenntniß des Chlorophylls und einiger dasselbe begleitender Farbstoffe. 225. 33. Bot. Ztg. 67. — Marc Michéli, *Quelques observations sur la matière colorante de la chlorophylle. 1867.* — Dr. Ad. Mayer, Production von organischen Pflanzensubstanzen bei Ausschluß der chemischen Lichtstrahlen. Abh. a. d. «Landw. Versuchsstationen». 1867. — Prof. A. Famintzin, Die Wirkung des Lichtes auf die Zelltheilung der Spirogyra. (*Mélanges physiques et chimiques tirés du bulletin de l'ac. impériale des sciences de St.-Pétersbourg. 1868.*) — C. Timirjaseff, Ueber die relative Bedeutung von Lichtstrahlen verschiedener Brech-

die Luftmasse, und wenn wir mit der Dichte dividiren, das Luftvolum, welches von dem Baum im Zeitraum T umspült war, oder bestimmter ausgedrückt, das Luftvolum, welches einerseits von den Blättern, andererseits von dem Wasser des Bodens seiner Kohlensäure beraubt wurde. Führt man die numerische Rechnung aus, indem man einführt für m 1 g für

a 0,002 für die Gesammtasche der Fichte etwa,
a' 0,0015 für den mittleren Gehalt im Drainwasser,
c 1,83 g für 1 g Cellulose,
c' 0,05 Volumprocente Kohlensäure in der atmosphärischen Luft,
m 1 g,

so erhalten wir näherungsweise 1—2 cbm Wasser und 2—3 cbm Luft, welche nöthig waren, um 1 g Holzsubstanz zu bilden.

---

barkeit bei der Kohlensäurezersetzung in Pflanzen. 169. (Vorl. Mittheilung.) Bot. Ztg. 69. — Dr. W. PFEFFER, Die Wirkung farbigen Lichtes auf die Zersetzung der Kohlensäure in Pflanzen. — SACHS, Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg. Heft 1. Leipzig. 1871. Engelmann. — W. PFEFFER, Zur Frage über die Wirkung farbigen Lichtes auf die Kohlensäurezersetzung. 319. Bot. Ztg. 71. — B. FRANK, Ueber lichtwärts sich bewegende Chlorophyllkörner. 209. 225. Bot. Ztg. 71. — J. REINKE, Ueber den Einfluß farbigen Lichtes auf lebende Pflanzenzellen. 790. 797. Bot. Ztg. 71. — J. BARANETZKY, Bemerkungen über die Wirkung des Lichtes auf Vegetationsprocesse und Chlorophyllzersetzung. 193. Bot. Ztg. 71. — J. WIESNER, Vorläufige Mittheilung über das Auftreten von Chlorophyll in einigen für chlorophyllfrei gehaltenen Pflanzen. 619. Bot. Ztg. 71. — Prof. Dr. Jos. BŒHM, Ueber die Bildung von Sauerstoff durch grüne in kohlensäurehaltiges Wasser getauchte Landpflanzen. (Abdr. aus dem Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch.) 1872. — Dr. GREGOR KRAUS, Zur Kenntniß der Chlorophyllfarbstoffe und ihrer Verwandten. Stuttgart. E. Schweizerbart. 1872. — W. PFEFFER, Die Wirkung der Spectralfarben auf die Kohlensäurezersetzung in Pflanzen. 425. 449. 465. Bot. Ztg. 72. — Dr. Jos. BŒHM, Ueber den Einfluß der Kohlensäure auf das Ergrünen und Wachsthum der Pflanzen. Abdruck a. d. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. 1873. — N. PRINGSHEIM, Untersuchungen über das Chlorophyll. Kgl. Akad. d. Wissensch. October 1874. — JUL. WIESNER, Vorläufige Mittheilung über den Einfluß des Lichtes auf Entstehung und Zerstörung des Chlorophylls. 116. 559. Bot. Ztg. 74. — A. BATALIN, Ueber die Zerstörung des Chlorophylls in den lebenden Organen. 433. Bot. Ztg. 74. — A. MAYER, Ueber Sauerstoffabscheidung aus Pflanzentheilen bei Abwesenheit von Kohlensäure. Sep.-Abdr. a. d. Verh. d. Heidelberger naturhist.-med. Vereins. 4. August 1875. — FR. K. KNAUER, Unsere Kenntnisse von der Entstehung und dem Baue des Chlorophylls. Wien 1875. Alfred Hölder's Universitäts-Buchhandlung. — H. HOFFMANN, Culturversuche. 601. 617. Bot. Ztg. 75. Ein Beitrag zur Lehre von der Vitalität des Samens. 681. 697. Bot. Ztg. 75. — E. ASKENASY, Ueber die Zerstörung des Chlorophylls lebender Pflanzen durch das Licht. 457. 473. 496. Bot. Ztg. 75. H. HOFFMANN, Culturversuche. 545. 561. Bot. Ztg. 76. — E. ASKENASY, Ueber den Einfluß des Lichtes auf die Farbe der Blüthen. 1. 27. Bot. Ztg. 76. — B. FRANK, Ueber die Veränderung der Lage der Chlorophyllkörner und des Protoplasmas in der Zelle und deren innere und äußere Ursachen. PRINGSH. Jahrb. VIII. S. 216. — J. WIESNER, Untersuchungen über die Farbstoffe einiger für chlorophyllfrei gehaltenen Phanerogamen. PRINGSH. Jahrb. Bd. VIII. S. 575. — E. LOMMEL, Ueber Fluorescenz.

A. Uebersicht der Erscheinungen an der Erde[1]).

Die grüne Pflanze zieht in den Kreislauf der organiſchen Bewegung vorzugsweiſe herein: die verſchwindend kleinen Mengen von Ammon- und Salpeterſäureſalzen und die Kohlenſäure, welche ebenfalls einen ſehr kleinen Volumtheil der Atmoſphäre ausmacht. Nach den Beobachtungen von BOUSSINGAULT, dem wir die exacte Bearbeitung eines Theiles der hier einſchlägigen Fragen verdanken (ſ. oben S. 403), häuft die Pflanze zunächſt die aſſimilabeln Formen der Stickſtoffverbindungen. Bei dieſem Proceß wird freier Sauerſtoff in die Atmoſphäre abgeſchieden und verbrennliche Subſtanz in dem aſſimilirenden Pflanzentheil angehäuft. Die grüne Pflanze erhält

---

[1]) Zwei Proceſſe ſpielen ſich an der Erdoberfläche ab und erhalten die organiſche Bewegung durch Jahrtauſende continuirlich. Der eine iſt eine Verbrennungserſcheinung und erzeugt Wärme und durch deren Verbrauch äußere Arbeit, der andere iſt ein Abſorptionsphänomen; dieſer verbraucht Wärme und Licht, erzeugt chemiſche Spannkraft, welche zum Theil an der Oberfläche der Erde in Form von Wäldern und Kohleſedimenten capitaliſirt, zum Theil in der äußeren Arbeit von Lebeweſen langſamer oder ſchneller ausgelöſt wird. Die Erde erſcheint uns unter dieſem Geſichtspunkt als eine Zelle, mit einem außerordentlich dünnen Ueberzug zum großen Theile grüner Gewächſe, an welchen ſich das Abſorptionsphänomen für Licht und ſtrahlende Wärme vollzieht, die grüne Pflanze ſomit als die Maſchine, in welcher chemiſche Spannung gebildet wird. Der Sonnenſtrahl iſt die einzige letzte Betriebskraft für dieſe Maſchine. Leicht iſt einzuſehen, daß dieſelbe für unſere Maſchine eine conſtante Strömungsbewegung iſt, welche mit gleich bleibendem Gefälle von der Sonne ausgeht. In ungeheuren Zeiträumen erſt wird ſie mit der Abkühlung des Sonnenkörpers ein Ebben, ein Nachlaſſen in der Intenſität, eine Verringerung des Gefälles zeigen können. Für eine gegebene Pflanze wird ſomit die Größe des Umſatzes, des Betriebes, außer von ihren ſpecifiſchen Eigenſchaften, lediglich von ihrer Fläche und der Zeit abhängig ſein. Dieſe Betrachtung führt uns zu dem Capital an chemiſcher Spannkraft in den Wäldern, in den Kohlenflötzen und Torfmooren und auf dieſem Wege zu früheren geologiſchen Epochen.

Die Rente der Betriebskraft läßt ſich meſſen durch das Gewicht feſter verbrennlicher Subſtanz, welches in einem gegebenen Zeitraum auf einer gegebenen Lichtfläche zurückgelegt wurde.

Von ſolcher Betrachtung ausgehend, lernt man die Pflanze als eine Maſchine anſehen, welche das endliche Reſervoir organiſirter Maſſe an der Erdoberfläche dauernd in Bewegung erhält, indem ſie von jener von der Sonne ausgehenden Betriebskraft eine verſchwindend kleine Menge in ſich aufnimmt. Was ſich an der Erdoberfläche in ungeheuren Proportionen und in ungeheuren Zeiträumen vollzieht, könnte man in einem Experiment, bezogen auf einen winzigen Raum, ausführen. Man könnte das Weſen des Betriebes an der ganzen Erdoberfläche durch ein Differenzexperiment einfacher Art zur Anſchauung bringen: ich denke mir einen geſchloſſenen Raum von Glas, welcher ſo beſchaffen ſein möge, daß die gewogene Menge atmoſphäriſcher Gaſe aus dem Recipienten M nach dem Recipienten M' diffundiren oder ſtrömen kann. In M möge eine Maſchine oder ein niederer thieriſcher Organismus arbeiten oder leben. In M' möge eine niedere grüne Pflanze vegetiren. Der Behälter wird mit der nöthigen Menge anorganiſcher Nährſalze beſchickt

somit stetig den umgekehrten Proceß, welchen zu gleicher Zeit die Thiere und alle Wärmemaschinen ausführen. Letztere consumiren verbrennliche Substanz stets auf Unkosten der von Pflanzen capitalisirten Assimilationsproducte. Der Vorrath von verbrennlichen Körpern dieser Art, welcher im gegebenen Zeitpunkt an der Erdoberfläche befindlich ist, könnte gewogen gedacht werden. Er stellt in sicherem Sinne die potentielle Energie der organischen Welt dar. Im Umtrieb von der verbrennlichen Form (potentielle Energie der Molecularcomplexe) nach dem Zustand des Verbrennens in lebenden Pflanzen, Thieren und in Maschinen (actuelle Energie) befinden sich somit *C*, *H*, *O*, *N*, und sie befanden sich, ehe sie in ersteren Zustand eintreten, mit Ausnahme des atmosphärischen Sauerstoffs im Zustande höchster Oxydation als Salze oder für *C* als CO_2.

B. Die Endproducte der Assimilation und deren Verbrennungswärme.

Wir setzen hier, was später (S. 474 Note) zu erweisen ist, voraus, daß

---

und kann offenbar so zugeschmolzen werden, daß nach außen ein Verkehr absolut unmöglich ist. Er kann so beschickt werden, daß die Processe in der Verbrennung in *M* genau æquilibrirt werden durch die Reduction in *M'*. Der Apparat ist eine Welt für sich, in welcher, wennschon in verschwindendem Maße gegenüber denselben Vorgängen an der Erdoberfläche, für lange Zeit, wenn nicht für immer, organische Bewegung herrscht. Der Apparat kann in allen Punkten gleiche Temperatur besitzen, mit Ausnahme selbstredend der Lebewesen selbst in ihm, er kann in *M* beschattet, ja selbst in absoluter Dunkelheit sein. In *M'* aber muß, wennschon mindestens diffuses Licht eindringen. In einem gleichen Apparat, welcher als Parallelversuch hergestellt und in gleichem Sinne beschickt und in absoluter Dunkelheit aufbewahrt ist, wird Tod eintreten, während in dem ersten für lange Zeit Bewegung erhalten bleibt. Wir haben somit eine gewogene Menge anorganer Salze und die atmosphärischen Gase in dem ersten Apparat in Umtrieb gesetzt, so daß ein umkehrbarer Kreisproceß stetig unterhalten blieb durch einen verschwindend kleinen Aufwand von strahlender (leuchtender) Wärme.

In unserem Apparat ist eine gewogene Menge Kohlenstoff in Form von zwei Maschinen (ein Thier und eine Pflanze) und der Form von Kohlensäure im Betriebe. Offenbar wird die Größe des Betriebes außer von der von außen einfallenden Betriebskraft noch von der Beschaffenheit der beiden Maschinen abhängen, d. h. von der Anzahl der Uebergänge eines Kohlenstoffatoms nach dem Oxydationszustand Kohlensäure und umgekehrt von diesem nach dem Zustande der Reduction. Mit Hilfe des Apparates kann somit gezeigt werden, daß Licht die einzige Betriebskraft für einen stetig anhaltenden Umtrieb ist. Der Apparat reicht aber nicht aus, um das absolute Maß im mechanischen Sinn für den Betrieb zu messen. Die grüne Pflanze selbst ist eine Maschine, welche außer der Reduction auch den Proceß der Athmung ausführt. Draußen im Freien spielen sich somit beide Vorgänge in jedem Blattflächenelement ab. Werfen wir einen Blick auf die Vorgänge im Waldbaum. Wir nennen die Gesammteinnahme in einem Lichtumtrieb das Gewicht an verbrennlicher Substanz.

die Verbrennungswärme der Assimilationsproducte gespeicherte Sonnenwärme ist[1]).

Ehe diese Körper irgend wo und wie, sei es in der Pflanze oder im Thierkörper, zu der Verbrennung kommen, führen sie gewisse Bewegungen in der Pflanze selbst aus, welche im chemischen Sinne bis jetzt nicht aufgeklärt sind. Zuletzt werden sie als feste Niederschläge, Cellulose, Stärkemehl oder als Zellinhalte, Protoplasma, Eiweiß in bestimmten Zellen dauernd angehäuft oder sie fließen als Baustoffe in den Thierkörper. Vergleicht man

---

[1]) Das Gewicht verbrennlicher Substanz in einem Baum, dessen Wärmemenge dem aufgenommenen Maße Sonnenwärme entspricht, setzt sich zusammen aus:

1° einem Theil, welcher verbraucht wurde, um Eigenwärme, sowie äußere positive Arbeit zu produciren (s. unten Arbeit der Pflanze);

2° einem Gewichtstheil von Secreten (Körper, welche für weitere Verwendung bedeutungslos sind); dahin gehören:

a) alle im Innern des Baumes zum Theil strömenden, zum Theil ein- für allemal abgeschiedenen Körper, welche nicht in die feste Hülle eingehen;

b) alle Theile, welche abtropfen oder abfallen, Blätter, Früchte, Zweige;

3° dem Gewicht an fester Substanz im Zuwachse;

4° dem Gewicht derjenigen gelösten und zeitweilig im Zustande eines Niederschlages befindlichen Körper, welche früher oder später einmal den Zuwachs der festen Hülle vermehren (z. B. der Stärkevorrath).

Der unter 4° genannte Theil aber setzt sich wieder aus zwei Theilen zusammen. Der eine Theil geht in der nächsten Vegetationsperiode (allgemein einer späteren Zeit, bezogen auf den Zeitpunkt unserer Bilanz) in die unter 1° bis 3° genannten Theile über, oder er wird zum Athmungsaufwand verbraucht. Der Rest stellt eine jedenfalls verschwindend kleine Masse, das Lebewesen des Baumes dar.

Denken wir uns nun mit Hilfe der schärfsten analytischen Methoden das Gewicht aller dieser Theile am Ende eines Lichtumtriebes festgestellt, so würde uns dennoch ein Theil der in dem Gewicht fester Substanz aufzusuchenden Wärmemenge entgangen sein. Dieser Rest läßt sich experimentell nicht bestimmen, wie ich in dem Nachfolgenden zu zeigen habe. Ich betrachte, um dieß zu erweisen, zuerst den einjährigen Umtrieb (Aussaat-Ernte) bei einem Getreidekorn; sodann den vieljährigen Umtrieb bei einem Waldbaume, und untersuche zuletzt die Einnahme auf gleicher Fläche für beide.

In einem gegebenen Cultur-Areal ist bei constantem Zuflusse aus dem Boden nach der Pflanze, wie bekannt und wie früher schon betont wurde, das Licht die einzige Betriebskraft, die Culturpflanze wird zum Wirthschafter und die Gesammteinnahme ist die Wärmemenge, welche durch die Pflanze producirt wird, plus der in Form fester, verbrennlicher Substanz capitalisirten Masse.

Wir sehen aus dem Verlauf dieses Processes somit, daß die Capitalisation von Kohlenstoff, wie sie etwa in der Steinkohlenperiode an der Erdoberfläche stattgefunden hat, bei einjährigen Pflanzen unmöglich wird; selbst wenn wir uns in der geschilderten Bewegung ein Moment denken, welches die Lichtfläche vom ersten nach dem zweiten, nach dem dritten jährlichen Umtrieb um das *n*-fache vergrößert.

Ließen wir gar andererseits die Lichtfläche constant durch alle Umtriebe, so ist klar, daß der Verlust an verbrennlicher Substanz noch größer sein würde. In jener Reihe würden

die Verbrennungswärme ſolcher mit derjenigen des reinen Kohlenſtoffes[1]), ſo iſt dieſelbe am größten bei vollſtändiger Verbrennung in reinem Sauerſtoff, für 1 g verbrannten C werden 7678 g Waſſer um 1° C. erwärmt. Bei der Verbrennung in atmoſphäriſcher Luft aber werden nur gegen 4—5000 g Waſſer um 1° C. erwärmt. Die Celluloſe in der atmoſphäriſchen Luft verbrannt, ergiebt nahezu 4000 Wärmeeinheiten. Für verſchiedene der wichtigeren Aſſimilationsproducte erhalten wir:

für 81	g	Eiweiß	374	Calorien,
« 116	«	Fett	1044	«
« 263	«	Stärke	1052	«

(nach Fick, Die Naturkräfte in ihrer Wechſelwirkung. Würzburg. Stahel. 1869).

---

zunächſt in den erſten Umtrieben die Gewichte (p) der Erntekörner kleiner werden, weil in dem Areal die Anzahl der in ihm möglichen Keimpunkte überſchritten iſt; ſodann aber würde von Umtrieb zu Umtrieb ſtets mehr Kohlenſtoff durch Athmung verloren gehen, als für das Maximum des Betriebes nöthig iſt. Nach derſelben Anzahl von Jahren, wie in dem erſten Fall, wo wir die Licht(Cultur)fläche wachſen ließen, wird ſomit die letzte Körnerernte, alle übrigen Bedingungen gleich gedacht, kleiner ſein.

Der Nachtheil, in welchem ſich einjährige Pflanzen befinden, gegenüber dem dauernden Baume, liegt ſomit darin begründet:

1° daß ſie in einer unbegrenzten Kette von Umtrieben einen zu großen Aufwand in der Athmung treiben;

2° daß ſie mit jedem neuen Umtrieb das den Racenſtamm erhaltende Lebeweſen in ſolche Keimlinge vertheilen, welche ihre Wirthſchaft mit dem größten Aufwand beginnen;

3° daß mit jeder ſolchen Vertheilung der Verluſt der vorher beſetzten Lichtfläche verbunden iſt;

4° daß ſie in der Richtung des Sonnenſtrahles die geringſte Ausdehnung erreichen, ſomit die Betriebskraft am ſchlechteſten ausnutzen.

[1]) Verbrennungswärme 1 g in O-gas, d. h. wenn 1 g der verzeichneten Elemente in O vollſtändig verbrennt, werden

	g Waſſer um 1° C. erwärmt.
H	33808
C	7678
S	2307
Fe	4134
Zn	5366

Verbindungswärme mit Säuren.

1 g mit	SO_3	NO_5	ClH
KaO	342	330	333
NaO	520	493	493
FeO	303	268	273
ZnO	255	203	203

Verbindung mit *Cl*, 1 g der Subſtanz.

K	2655
Zn	1529
Fe	1745

In einem von Pflanzen beſetzten Areal der Erdoberfläche ſtellt die Pflanze eine wärmeſammelnde Maſchine dar, welche in, für ſie ſelbſt unvortheilhafter Weiſe verbrennliche Subſtanz häuft, wenn ſie das von ihr beherrſchte Areal nach einer Sommerperiode wieder preisgiebt, ſo die einjährigen Culturpflanzen. Dieß beruht einfach darin, daß die von einer gegebenen Pflanze mögliche Anſammlung von Wärme aus den Sonnenſtrahlen direct proportional der Zeit und direct proportional der Fläche iſt, welche von der Pflanze beſiedelt iſt.

In den ärmſten Regionen, in der arctiſchen und hochalpinen, herrſchen faſt nur Flechten, welche dennoch ſtete und merkliche Verbrennungswärme häufen, weil ſie ſelbſt keinen Aufwand machen und weil ſie ausdauern[1]).

---

[1]) Wir haben es am einfachſten, wenn wir abſehen von jenen perennirenden Pflanzen, welche zwar periodiſch, wie die einjährige Pflanze, dem Lichte einen, im erſten Umtrieb hinfälligen Sproß entgegenſenden, ſonſt aber mit einem unterirdiſchen Stocke ausdauern, mit dem Baume, als einem Lebeweſen zu thun, welches zu der vorjährigen Einnahme die diesjährige hinzufügt, ohne daß das zurückgelegte Capital außer Continuität geräth mit dem Zuwachs. Die Geſammtbewegung als Folge der in dem bewohnten Areal eingeſtrömten und verbrauchten lebendigen Kraft des Lichtes verläuft aber, wie ſich leicht ergiebt, ganz anders wie bei der einjährigen Pflanze. Dort war die für das Lebeweſen verfügbare Lichtmenge eine ſo begrenzte, daß ein Zuwachs an verbrennlicher Subſtanz für den Stamm der Race nur zu ermöglichen war dadurch, daß wir die Lichtfläche von Umtrieb zu Umtrieb vergrößerten und zwar ſo, daß ſie im directen Verhältniſſe zu der Anzahl der Ausſaatobjecte wächſt. Jetzt wächſt der Zuwachs mit der Zeit, weil in Folge jener Continuität der aus den aufeinanderfolgenden Umtrieben erhaltenen Zuwachsmaſſen die Lichtmenge, welche dem Stamme zuſtrömt, eine größere wird. Bis zu einer gewiſſen Grenze wächſt die Lichtfläche und damit die Betriebskraft, ohne daß das bewohnte Areal vergrößert zu werden braucht.

Die Betriebsfläche des Baumes wird auf einen ſtetig zunehmenden Rotationskörper (die Krone) hinausgeſchoben, die Anzahl der Licht aufnehmenden Blattſchichten wächſt in Richtung des Sonnenſtrahles. Zwar wird, wie bei dem einjährigen Umtriebe und vorzugsweiſe in der gemäßigten Zone, alljährlich ein ähnlicher Aufwand getrieben, welcher in geometriſcher Progreſſion mit dem Stamme wächſt, dadurch, daß die ſich entfaltenden Knoſpen athmen, dadurch, daß alljährlich ein Theil oder alle Blätter hinfällig werden; nichtsdeſtoweniger iſt dieſe Maſchine vortheilhafter eingerichtet:

1° weil alle Knoſpen (Keimpunkte) mit einem gemeinſchaftlichen größten Reſervoir in Verbindung ſtehen, aus welchem ſie ihren Aufwand (derſelbe ſetzt ſich wie bei dem Getreidekorn aus drei Theilen zuſammen, von welchen wie dort jeder für den Stamm eine geometriſche Reihe bildet; jetzt aber fällt der Verluſt und die äußere Arbeit für Zweige und Wurzeln fort, oder er iſt auf ein Minimum beſchränkt) decken; während bei der einjährigen Pflanze jedem Keimobject eine gewiſſe Menge verbrennlicher Subſtanz mitgegeben wird, von welcher der Ueberſchuß verloren geht, fließt der Ueberſchuß bei dem Betrieb der Knoſpenentfaltung zurück in das gemeinſame Reſervoir; der letztere Betrieb iſt aus dieſem Grunde ſchon rationeller;

2° weil ein Theil der äußeren Arbeit nicht mit jedem Umtrieb verloren geht, ſondern in dem Zweigſyſtem erhalten bleibt;

Dasfelbe gilt für faft alle Moofe, für alle perennirenden Phanerogamen und höhere Cryptogamen an folchen Grenzen der Vegetation, wo die übrigen Lebensbedingungen außerordentlich ungünftig find. Alle den Waldfchatten bewohnenden Moofe find z. B. im Allgemeinen im Walde perennirend, viele Acker bewohnende aber find einjährig. Das vornehmfte Studienobject aber ift der Wald, wo von Jahr zu Jahr, immerhin jedesmal mit dem Aufwand fämmtlicher oder eines Theiles der Blätter, während des Zeitraums von Jahrhunderten verbrennliche Maffe in den Jahreslagen des Holzkörpers gefpeichert wird.

3° der Aufwand in der Auflockerung der Gewebe ift in der Baumknofpe kleiner wie in dem Saatkorn, weil die Disgregationsgröße eine kleinere ift; wir verftehen unter derfelben den Unterfchied im Volumen einer und derfelben Zelle von dem jüngften kleinften nach dem älteften größten Zuftande; diefer Unterfchied ift an der vegetativen Knofpe kleiner wie an der embryonalen, er ift an dem Haupttrieb kleiner wie am Seitentrieb — er ift an einer Hauptknofpe, welche 100 Jahresperioden glücklich beftanden, kleiner wie an einer folchen, welche erft wenige Jahre fich geöffnet und gefchloffen hat.

Wir dachten uns für eine und diefelbe Lichtfläche alle Maffen gewogen für eine und diefelbe Pflanze und erhielten in dem Gewichte der von der Pflanze in der Zeiteinheit producirten verbrennlichen Subftanz das Aequivalent der mechanifchen Arbeit für das in die Lichtfläche, refp. das Pflanzenblatt, in dem gegebenen Zeitintervall eingeftrömte Licht. Nennen wir nun L denjenigen Theil der lebendigen Kraft des Sonnenftrahls, welcher für die gegebene Zeit von der Blattfläche abforbirt, als Licht und Wärme in dem durchgegangenen Theil des Strahles fehlt, und denken uns diefen Theil in Calorien (Wärmeeinheiten) oder in Kilogrammetern (äußere Arbeit) ausgewerthet; nennen wir l' die Wärme in Wärmeeinheiten, welche die beftrahlte Pflanze als chemifche Arbeit behält; l'' den Theil, welchen fie ausftrahlt, a die in der gegebenen Zeit geleiftete äußere Arbeit in Wärmeeinheiten ausgemeffen und a' die Anzahl der Wärmeeinheiten, welche durch Verbrennung der in dem gegebenen Zeitintervall capitalifirten Maffe erhalten wird, fo würde die Gleichung beftehen:

1) $$L = l + l' + l'' + a + a'.$$

Offenbar würden wir in der Summe, wenn wir a und l, l' genau experimentell beftimmen könnten, in der rechten Seite genau diefelbe Anzahl von Wärmeeinheiten finden, und wir könnten mit einer gegebenen Pflanze für jeden Lichtgrad die mechanifche Leiftung beftimmen.

Diefe Beftimmung aber ift unmöglich. Wie ich zu zeigen habe, ift es nicht möglich, a' experimentell zu beftimmen. Man kann wohl mit Hilfe der Photographie, mit Hilfe des Pouillet'fchen Pyrheliometers und des Thermomultiplicators beftimmte Wirkungen des Sonnenftrahles vergleichen, in Bezug auf die Wirkung des Strahles in der Pflanze aber haben folche Meffungen keine Bedeutung, denn wir erhalten lediglich in dem Zuwachs an verbrennlicher Subftanz ein Maß für die Leiftung des Sonnenlichtes in der Pflanze, welche nicht verglichen werden kann mit der Wirkung des Strahles auf einen Photometer.

Stellen wir in die Sonne zur gleichen Zeit ein directes Pyrheliometer nach der Angabe Pouillet's, ferner einen Photometer, wie ihn Roscoe vorfchlägt, und eine abgemeffene grüne Blattfläche, fo haben wir in jedem diefer einen Apparat, welcher mechanifche Leiftung des Sonnenlichtes angiebt. Nach einer gewiffen Zeit giebt uns der Pyr-

In pflanzengeographifcher Hinficht find über die ganze Welt die immergrünen Nadelhölzer die Pioniere. An der polaren Grenze fowohl wie in der alpinen Region beherrfchen fie die letzte Baumgrenze, weil fie felbft den Aufwand im Verluft der Blätter nicht mehr machen, welcher den Laubwald gefährdet durch Spätfroft und Confum von plaftifchen Körpern.

C. Die Arbeit der Pflanze gegenüber den äusseren Agentien.

Es foll hier nicht die Aufgabe gelöft werden, alle Beziehungen der Pflanze zu äußeren Agentien zu ftudiren, fondern es handelt fich lediglich darum, an einem fchlagenden Beifpiele zu zeigen, wie zwei Organismen als Antagoniften in dem Haushalte der Natur erfcheinen, von welchen einer

---

heliometer nach Pouillet in einer gewiffen Anzahl von Wärmeeinheiten die mechanifche Leiftung der Sonnenwärme, der Photometer von Roscoe oder beffer ein Photometer, in welchem durch die Verbindung von Chlor und Wafferftoff die Intenfität des Lichtes gemeffen wird, giebt uns die chemifche Wirkung, und die Pflanze giebt uns in dem reducirten Kohlenftoff ein Maß für die Leiftung des Lichtes. In den erften beiden Apparaten verlaufen während der Beftrahlung die Proceffe in einem Sinne; von dem Photometer, den wir Pflanze nennen, wiffen wir aber, daß er zwei Proceffe in derfelben Zeit ausführen kann, welche fich ihrer mechanifchen Bedeutung nach gegenfeitig vernichten. Es ift die Athmung und die Reduction, erftere vermindert, letztere mehrt jenes Gewicht an reducirter Subftanz, durch welches wir die mechanifche Leiftung der Strahlung beftimmen. Die Methode der Unterfuchung erlaubt nun, wie leicht zu überfchauen ift, nicht, beide Proceffe getrennt zu meffen.

Aus unferer Discuffion geht hervor: daß es in hohem Grade wahrfcheinlich ift, daß die Häufung verbrennlichen Kohlenftoffcapitales durch grüne Pflanzen an der Erdoberfläche um fo fchwieriger war, je weniger perennirende Gewächfe diefelbe bedeckten, daß es fomit höchft wahrfcheinlich ift, daß im Beginn der Wirthfchaft niedere und fodann höhere Dauergewächfe mit vieljährigem Lichtumtriebe jene Kohlenanhäufung ausführten, von welcher wir in dicht bevölkerten Erdtheilen noch jetzt in gewiffem Sinne unfere Exiftenz friften. Auch eine Betrachtung aus dem gewöhnlichen Leben zeigt uns, daß in dem großen Verkehr zwifchen thierifchen Lebewefen und der Pflanze alle organifchen Maffen, welche den Weg nach dem thierifchen Körper einfchlagen, wohl eine plötzliche Steigerung der organifchen Bewegung bewirken, infofern fie bei höherer Temperatur (Blutwärme) verbrennen und in vollkommenften Mafchinen Arbeit leiften. Das Endrefultat diefer Bewegung ift aber doch ein Confum und zwar ein rafcherer Confum chemifcher Spannkraft, wie wenn diefelbe verbrennliche Maffe in einem Baume capitalifirt würde. Die Größe des Betriebes in dem, bezogen auf jenes von der Sonne ausgehende Gefälle (Licht und ftrahlende Wärme) beften Wirthfchafter, in dem Baume etwa, welcher am rafcheften verbrennliche Subftanz anhäuft, hängt noch von dem Kohlenfäuregehalt der Atmofphäre ab. Für die Phafe, in welcher unfere Erdoberfläche fich jetzt befindet, ift es von Intereffe, das Maximum der Ausnutzung des Sonnenlichtes durch Wald zu berechnen, bezogen auf die mechanifche Kraft, welche als Licht und Wärme einftrömt. Freilich wird eine folche Rechnung nur äußerft näherungsweife fein können, weil in fo extenfivem Wirthfchaftsverfahren, wie das forftliche, wohl niemals eine genaue Beftimmung der Production in unferem Sinne möglich fein wird.

außerordentlich große lebendige Kraft der ſichtbaren Bewegung zeigt bei intenſiver Verbrennung, während der andere eine minimale Verbrennung, aber auch eine verſchwindend kleine äußere Arbeit in der lebendigen Kraft der Bewegung zeigt [1]).

Die Arbeit eines Pferdes kann geſchätzt werden zu 4500 kgmeter in der Minute. Für acht Stunden macht dieß die Geſammtleiſtung von 2 160 000 kgmeter, und es wird aufgewandt nach dem mechaniſchen Aequivalent der Wärme die Verbrennungswärme von 670 g Kohle, d. h. aus den Nahrungsmitteln, deren Verbrennung in der thieriſchen Wärme zum Vorſchein kommen würde, geht jenes Maß der Verbrennungswärme verloren und kommt in der äußeren Arbeit wieder zum Vorſchein.

[1]) Ich nehme einen Hectar Lichtfläche, welche mit 100jährigem Buchenbeſtande unter den günſtigſten Bedingungen der Bodenverhältniſſe und der Wirthſchaft Kohlenſtoff capitaliſirt. Die Geſammteinnahme eines ſolchen Areals berechnet ſich nach einer ſehr genauen Zuſammenſtellung von Th. Hartig zu 1276 cbm feſter Holz- und 1 049 166 kg Laubmaſſe. Das erſtere Maß in Gewicht umgerechnet, indem wir die mittlere Dichte gleich 0,05 ſetzen, erhalten wir 638 000 kg, das Trockengewicht der Laubmaſſe zu 0,66 des Friſchgewichtes geſetzt, erhalten wir 703 449,5 kg. Im Geſammt 1 441 449 kg verbrennlicher Subſtanz. Als Verbrennungswärme von 1 g Celluloſe nehmen wir die experimentell beſtimmte zu 4314 Wärmeeinheiten, und erhalten ſo in 100 Jahren in 1 h 596 759 886 000 Wärmeeinheiten angehäuft.

Nach den Meſſungen Pouillet's erhält 1 qcm Erdoberfläche im Durchſchnitt 231 684 Wärmeeinheiten in einem Jahre. Für unſer Areal und für die Umtriebszeit iſt die Strahlung ſomit das Product aus dieſer Anzahl von Wärmeeinheiten in zehn Millionen mal die Anzahl der Jahre eines wirthſchaftlichen Umtriebes (100 Jahre). Dieſe mechaniſche Leiſtung entſpricht 231 684 000 000 000 Wärmeeinheiten. So viel iſt dem Areal zugeſtrömt unter der Vorausſetzung, daß die Atmoſphäre ohne ſtörenden Einfluß geweſen ſei. Nennen wir, bezogen auf die Sonnenwärme, dieſe Zahl den theoretiſchen Arbeitswerth des Areals, ſo erhalten wir den wirklich beſtimmten Arbeitswerth unſeres 100jährigen Buchenwaldes, indem wir mit dem doppelten Werthe (wir denken uns ein ebenſo großes Areal, welches genau reciproke Zeiten in Umtrieb iſt zu den Zeiten, in welchen unſer Wald thatſächlich beſtrahlt wird, ſo daß die Nacht und der Winter, welche den Proceß in einem Hectar verlangſamen, in dem andern beſchleunigen) der in ihm angehäuften Wärmeſumme in die erſtere dividiren. Wir erhalten 194, d. h. von dem beſten Wirthſchafter in unſerer Zone wird der 194. Theil des theoretiſchen Arbeitswerthes ausgebeutet. Freilich iſt jener theoretiſche Werth viel zu groß angenommen, da bei uns wohl der größte Theil der Bewegung in den Wolken hängen bleibt und von dort in das Weltall geſtrahlt wird.

Bezogen auf den Geſammtvorrath und die Function ſeines Wachſens in der Zeit wird man annehmen müſſen, daß die Schwankungen im Zuwachs an chemiſcher Spannung nicht unmittelbare Folgen von Schwankungen in der Zuſtrahlung ſein können, ſondern darin begründet ſind, daß die Anzahl der Kohlenſtofftheilchen, welche in dem Wechſelbetrieb, Verbrennung und Reduction, hin und her ſchwanken, eine begrenzte iſt, gegenüber dem conſtanten Gefälle eines ungeheuren von der Sonne abfließenden Stromes. Der Wechſel in jenem Zuwachs an potentieller Energie, wie er von dem Vorrath der Steinkohlenperiode bis auf die Productionsgröße der heutigen Zeit uns wahrnehmbar wird, iſt dieſer Anſchauung nach eben darin begründet, daß der Vorrath an Kohle in irgend einer

In dem gleichen Sinne geht in der Arbeit eines erwachfenen Mannes die Verbrennungswärme von 12 g Kohle und für den Herzfchlag, welcher 150 ccm Blut gegen einen Druck von 16 cm Queckfilberfäule fortfchiebt, die Verbrennungswärme von 15,5 g Kohle für den Tag verloren.[1]).

Bei allen diefen Mafchinen wird aber eine außerordentlich große Menge äußerer Arbeit geleiftet, neben der inneren Arbeit, welche, gerade wie bei der Pflanze, durch fichtbare äußere Bewegung nicht erkannt wird. Man kann fagen, die innere Arbeit der Thiere ift jedenfalls ähnlich derjenigen in der Pflanze, aber viel complicirter. In beiden fällt diefelbe jeden-

---

Form, fei es Kohlenfäure oder reducirte verbrennliche Subftanz, an der Erdoberfläche ein begrenzter ift. Die Erdoberfläche eilt fomit einem beftimmten Zuftande (dem Zuftande kleinfter Production für ein gegebenes Zeitintervall) entgegen, was darin kenntlich wird, daß die Curve des Zuwachfes für das Capital verbrennlicher Subftanz von einem Maximum herkommend durch den Zeitpunkt, in welchem wir jetzt ftehen, im Sinken begriffen ift. Das Maximum jener Curve muß in der Steinkohlenzeit gelegen fein. Hiefür giebt es außer anderen ein einfaches Argument: das grüne Pflanzenblatt der Jetztzeit vermag, wie zahlreiche Verfuche beweifen, einen Procentfatz an Kohlenfäure zu ertragen und im Lichte zu zerfetzen, gegen welchen der gegenwärtige Procentfatz an Kohlenfäure in der Atmofphäre verfchwindend klein ift. Die Größe der Production in einem gegebenen grünen Pflanzenblatt, während eines kleinen Zeitintervalls (etwa 1/2 Stunde) hängt fomit ab, außer von der Intenfität der Beftrahlung, von dem Kohlenfäuregehalt des Gasgemifches, in welchem das Blatt functionirt. BOUSSINGAULT hat durch genaue gasanalytifche Beftimmungen gefunden, daß das Optimum des Kohlenfäuregehaltes in dem Gasgemifch, in welchem grüne Pflanzenblätter affimiliren, etwa 10 % ift, daß felbft eine faft abfolute Kohlenfäureatmofphäre dann noch ertragen wird, wenn in derfelben wenige Volumprocente eines indifferenten Gafes, Wafferftoff oder Stickftoff, vorhanden find. Beachtet man, daß der geringe Kohlenfäuregehalt der Atmofphäre von heute gegenüber jener Production im Experiment in dem gefchloffenen Raum bald verbraucht fein würde, fo erfcheint uns die Ausnutzung der von der Sonne abftrömenden Betriebskraft in der äußerften Schale der von Wald und fonftigen Culturgewächfen ausgefüllten Erdoberfläche überhaupt nur dauernd möglich durch die ungeheure Ausdehnung des Luftoceans. So viel aber wird überfichtlich, daß eine Zunahme von mehreren Volumprocenten an Kohlenfäure in dem letzteren einerfeits die Production in der von grünen Pflanzen bewohnten Fläche mächtig fteigern würde, und daß wir andererfeits annehmen dürfen, daß in Folge Jahrtaufende langer Production in grünen Pflanzen der Procentgehalt an Kohlenfäure und damit die Productionsgröße für das Zeitincrement allmälig herabgemindert wurde bis zu dem heutigen Zuftande.

[1]) Die Literatur über diefe Discuffion: R. MAYER, Die Mechanik der Wärme. In gefammelten Schriften. Stuttgart 1867. Cotta'fche Buchhandlung. S. 55 ff. S. 60 ff. — H. HELMHOLTZ, Ueber die Wechfelwirkung der Naturkräfte. Königsberg 1854. Verlag von Gräfe u. Unzer. S. 35. — A. MAYER, Lehrbuch d. Agrikulturchemie. 2. Aufl. Heidelberg 1876. Carl Winter's Univerfitätsbuchh. Erfte u. zweite Vorlefung. — SACHS, Handbuch d. Experimentalphyfiologie. Leipzig 1865. W. Engelmann. S. 18 ff. Hier find noch zu beachten: DAVY's Experiment mit den geriebenen Erdftücken. R. MAYER's Experiment mit dem gefchüttelten Waffer. JOULE's Beftimmung des mechanifchen Aequivalentes. GERHARD BERTHOLD, RUMFORD und die mechanifche Wärmetheorie. Heidelberg 1875. Carl Winter's Univerfitätsbuchhandlung. S. 48 ff.

falls unter denselben Gesichtspunkt der Betrachtung. Die äußere Arbeit ist bei dem Thier außerordentlich groß, bei der Pflanze außerordentlich klein.

Für die Pflanze würde diese Untersuchung auf eine Spitzfindigkeit hinauslaufen, wollte man die Gesammtsumme äußerer und innerer Arbeit etwa aus den sichtbaren Bewegungen der Wurzeln im Boden, wo freilich ein ungeheurer Druck zurückgeschoben wird, oder in allen Einzelheiten der Evolution oberirdischer Theile ausdrücken. Was aus diesem Gebiete zu lernen, ist etwa das Folgende:

Der Baum der gemäßigten Zone häuft von Jahr zu Jahr feste Masse in Folge der Assimilation. Diese Masse erscheint an dem Orte, wo der Baum nach hundert Jahren steht, im Laufe der Zeit zu einer ursprünglich verschwindend kleinen Anfangsmasse im Keimling zugefügt. Es wird dabei:

Aus dem Princip von der Erhaltung der Kraft (s. die hier einschlägige Literatur: CLAUSIUS, Mechanische Theorie der Wärme; HELMHOLTZ, Wechselwirkung der Naturkräfte; KIRCHHOFF, Vorträge über theoret. Physik, und in dem Handbuch der Experimentalphysik WÜLLNER, Bd. II) sind zwei Begriffe zunächst zu definiren, um den Beweis zu führen, daß Wärme eine Art der Bewegung ist:

1⁰ denkt man sich eine Masse m mit der Geschwindigkeit v zur Zeit t in Bewegung, so versteht man unter lebendiger Kraft dieser Masse das Product

$$\frac{1}{2}\, m\, v^2.$$

Bei einem System von Massen erhält man den entsprechenden Ausdruck, indem man die lebendigen Kräfte der einzelnen Massen summirt. Die lebendige Kraft ist constant, wenn die Masse sich gleichförmig in der Zeit bewegt. Im Allgemeinen wird sie aber eine nicht lineare Function der Zeit sein, so beim Wurf, Fall, Stoß und so fort;

2⁰ als zweiter Begriff ist die Arbeit einer Kraft zu definiren.

Sei m ein materieller Punkt, der bei Einwirkung der lebendigen Kraft R die beliebige unendlich kleine Verrückung ds erleidet, so ist $-R\ ds\ \cos\varphi$ die Arbeit, welche bei der Verschiebung ds gegen die Kraft R geleistet wird. Sie ist positiv, wenn der Winkel φ, welcher von der Richtung der Kraft und der Verschiebungsrichtung eingeschlossen wird, ein stumpfer ist. Bei der Bewegung des Punktes, m, über eine endliche Strecke ist die Arbeit gleich der Summe der unendlich vielen kleinen Verschiebungen, aus welchen der Weg zusammengesetzt ist, und in einem System von vielen Punkten ist die Gesammtarbeit gleich der Summe aus den Arbeiten aller Punkte.

Der Satz, welcher zuerst von Bedeutung ist, kann nun so ausgesprochen werden:

Bei irgend einem System von materiellen Punkten, auf welches irgend welche Kräfte wirken, ist die Verringerung, welche die lebendige Kraft des Systems durch die Verschiebung erfährt, gleich der Arbeit, welche dabei gegen die wirkenden Kräfte geleistet wird. Der Beweis dafür ist dieser:

Seien X, Y, Z die Componenten der Kraft R nach den drei Coordinatenaxen, und es seien dx, dy, dz die Projectionen der Verschiebung ds auf jene, so ist

$$-R\,,\ ds\cos\varphi = -(X\,dx + Y\,dy + Z\,dz).$$

Nennen wir nun x', y', z' die Coordinaten von m, zur Zeit t, so ist die wirksame Kraft X gleich dem Product aus der Masse m in die Beschleunigung

$$-\frac{d^2\,x^1}{d\,c^2}$$

1⁰ Gewicht gehoben, äußere Arbeit $A'e$;

2⁰ dieses Gewicht wird aber (nach S. 473) selbst wieder aus der Luft und dem Wasser condensirt;

3⁰ werden innere Strömungen ausgeführt, Reibung im Innern überwunden (Lösung und Niederschlagbildung $A'i$);

4⁰ wird Reduction ausgeführt, bezogen auf CO_2, H_2O und Salze $A''i$.

Die Summe $A'e + A''e + A'i + A''i$ läßt sich alsdann durch ein bestimmtes Wärmemaß oder durch eine Summe von Kilogrammmetern ausdrücken, wenn alle Verbrennungswärme aus dem Baume gezogen ist. Suchen wir die Werthe näherungsweise so auszudrücken, daß wir für den besten Wärmesammler, unseren Waldbaum, einen Ueberblick aller inneren und äußeren Arbeit gewinnen.

---

und für beliebige andere Punkte m_2, m_3, ..., auf welche die Kräftecomponenten X_2, Y_2, Z_2; X_3, Y_3, Z_3 wirken mögen, erhalten wir:

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{d c^2} = X_1, \qquad m_2 \frac{d^2 x_1}{d c^2} = X_2, \qquad m_3 \frac{d^2 x_1}{d c^2} = X_3.$$

$$m_1 \frac{d^2 y_1}{d c^2} = Y_1, \qquad \ldots\ldots \qquad \ldots\ldots$$

$$m_1 \frac{d^2 z_1}{d c^2} = Z_1, \qquad \ldots\ldots \qquad \ldots\ldots$$

Multipliciren wir die erste Reihe mit $d x_1$, $d y_1$, $d z_1$, die zweite mit $d x_2$, $d y_2$, $d z_2$, die dritte mit $d x_3$, $d y_3$, $d z_3$, addiren alle linken und rechten Seiten und bedenken, daß

$$d x \frac{d^2 x}{d c_2} = X \frac{d x}{d c} d \frac{d x}{d c} = {}^1/_2\, d \left(\frac{d x}{d c}\right)^2,$$

so kommt

$$d\, {}^1/_2 (m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 + m_3 v_3^2 + m_3 v_3^2 + \ldots) = X_1 d x_1 + Y_1 d y_1 + Z_1 d z_1 + X_2 d x_2 + Y_2 d y_2 + Z_2 d z_2 + \ldots,$$

wo unter $v_1 v_2$ .. die Geschwindigkeiten der Massen verstanden sind.

Integriren wir zwischen den Grenzen t_0 und t_1, wo t_0 die Zeit im Anfangspunkt der Bewegung bedeutet, so kommt:

$${}^1/_2 (m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 + m_3 v_3^2 + \ldots) = \int \begin{matrix} X_1 d x_1 + Y_1 d y_1 \ldots \\ + X_2 d x_2 + \ldots \end{matrix},$$

womit der Satz bewiesen ist.

Nennen wir ferner r_{12}, r_{23}, ... die Entfernungen beziehungsweise der materiellen Punkte m_1 von m_2, m_2 von m_3 u. s. f. und ähnlich $f(r_{12})$, $f(r_{23})$ die Anziehungskräfte, welche in jedem Punktpaar ausgeübt werden, so sind:

$$f(r_{12}) \frac{x_2 - x_1}{r_{12}}, \quad f(r_{12}) \frac{x_1 - x_2}{r_{12}},$$

$$f(r_{12}) \frac{y_2 - y_1}{r_{12}}, \quad f(r_{12}) \frac{y_1 - y_2}{r_{12}},$$

$$f(r_{12}) \frac{z_2 - z_1}{r_{12}}, \quad f(r_{12}) \frac{z_1 - z_2}{r_{12}}$$

a) Die äußere Arbeit Ae'.

Sehen wir von dem Wurzelkörper ab und nehmen einen Stamm, welcher 30 m Höhe besitzt, an. Es sei q der Querschnitt, h die Höhe, f die Formzahl, welche die Forstleute fanden[1]), d die mittlere Dichte, so repräsentirt

$$f \cdot q \cdot h \cdot d = P \text{ das Gewicht.}$$

Dieses aber ist über die Höhe fh vertheilt uud sei mit h' bezeichnet.

Die Summe der Meterkilo ist aber gleich der Summe von $q \cdot d \cdot dh$, wo dh ein Differential des Höhenunterschiedes und q den Querschnitt bedeuten. Um die Rechnung auszuführen, beachten wir, daß das Gewicht des Cylinderabschnittes ist $\frac{d\,q\,h'}{h'}$, somit wird $g = dq$ (d die Dichte) und die Summe der Meterkilo ist

$$dq + dq_2 + dq_3 + \ldots\ldots dq\,h',$$

die Summenformel der geometrischen Reihe

$$S = \frac{2\,an + n\,(n \cdot 1)}{2}\,d\,q;$$

führen wir die Rechnung aus, so kommt 3750 Kgm., und dividiren wir diese Meterkilo durch die Zeit (Anzahl der Jahre), so erhalten wir die ver-

[1]) Die durch zahlreiche Messungen gefundene gebrochene Zahl, welche angiebt, auf welche Höhe die wirklich gemessene Höhe eines Baumes reducirt werden muß, um einen Cylinder von dieser Höhe und dem unteren Querschnitt als Grundfläche lückenlos mit Holzmasse auszufüllen.

---

die beziehungsweisen Componenten der Kräfte, mit welchen m_1 auf m_2 und umgekehrt m_2 auf m_1 einwirkt. Multiplicirt man die erste Verticalreihe mit $d\,x_1$, $d\,y_1$, $d\,z_1$, die zweite mit $d\,x_2$, $d\,y_2$, $d\,z_2$, addirt und nimmt die Summe mit dem Minuszeichen, so kommt

$$a)\; f\,(r_{12}) = \frac{(x_2 - x_1)\,(d\,x_2 - d\,x_1) + (y_2 - y_1)\,(d\,y_2 - d\,y_1) + (z_2 - z_1)\,(d\,z_2 - d\,z_1)}{r_{12}}$$

als Ausdruck der Arbeit, welche bei unendlich kleiner Verschiebung der $m_1\,m_2$ gegen ihre Anziehungskräfte geleistet wird. Bedenkt man nun, daß

$$r_{12}^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2,$$

und daß hieraus durch Differentiation erhalten wird:

$$r_{12}\,d\,r_{12} = (x_2 - x_1)\,(d\,x_2 - d\,x_1) + (y_2 - y_1)\,(d\,y_2 - d\,y_1) + (z_2 - z_1)\,(d\,z_2 - d\,z_1),$$

so verwandelt sich a in $f\,(r_{12})\,d\,r_{12}$.

Hieraus erhalten wir nun die Arbeit bei einer endlichen Bewegung, wenn wir die Entfernungen $r_{12}^0\;r_{12}^1$ beider Massen $m_1\,m_2$ in der Anfangs- und Endlage bestimmen und zwischen diesen Grenzwerthen integriren. Setzen wir

$$\int_{r_{12}^0}^{r_{12}^1} f\,(r_{12})\,d\,r_{12} = F\,(r_{12}),$$

schwindende äußere Arbeit von 37,5 Kilogrammmeter. Diese Arbeit entspricht, wenn wir einen 100jährigen Baum wählen, dem Aufwand von 0,012 g Kohle für den Tag; man vergleiche diese Arbeit mit dem Herzschlag.

Die äußere Arbeit *Ae''*

kann so ausgedrückt werden: in 1 g des trockenen Holzes sind nach Früherem (S. 473) condensirt zu denken: 2—3 kg Wasser zunächst für die Asche, und es darf hier die latente Wärme von Wasser von 100°, nach Dampf von 100° eingeführt werden (freilich verdunstet der Baum bei niederer Temperatur).

Die *C*-theilchen von 1 g Holz aber wiegen 0,44 g, diese geben nahezu 1,83 g Kohlensäure. Als Kohlensäure wurde aber diese *C*-menge aufgenommen aus der Luft, und es entspricht die Menge von 1,83 g CO_2 einem Luftvolum unter dem mittleren Druck der Atmosphäre (von 760 mm Quecksilber) von 2,5 cbm. Soviel Liter Luft mußte mit dem Baum in Berührung kommen, damit 1 g Holz entsteht.

---

so kommt

$$\int_{r_{12}^0}^{r_{12}^1} f(r_{12})\, d r_{12} = F(r_{12}^1) - F(r_{12}^0)$$

als Ausdruck der Arbeit bei endlicher Bewegung, und es kommt die wichtige Beziehung zum Vorschein, daß die Arbeit von der Gestalt des beschriebenen Weges ganz unabhängig ist und nur von der Anfangs- und Endlage abhängt. Dieß gilt für jedes Massensystem, so lange der Voraussetzung genügt ist, daß die Anziehungskräfte nur Functionen der Entfernung sind.

Die Hypothese nun, auf welcher die mechanische Theorie der Wärme beruht, sagt aus, daß von allen in der Natur wirksamen Elementarkräften diese Voraussetzung gemacht werden dürfe. Sie läßt sich auch dahin besser umgestalten: Bei allen Elementarkräften ist die äußere Arbeit nur abhängig von der Anfangs- und Endlage des Systems (in dieser Fassung dürfen auch solche Kräfte elementare genannt werden, welche, wie die WEBER'schen, nicht nur von der Entfernung, sondern auch von der Geschwindigkeit abhängen).

Von dieser Hypothese ausgehend, kann bewiesen werden, daß Wärme eine Art der Bewegung sein müsse. Wir denken uns ein Rad mit Zapfen in einem Lager ruhend, welches mit einem Zuggewicht in Bewegung gesetzt wird. Nach einer ganzen Umdrehung ist Arbeit gegen die Schwere und die Reibung des Zapfens geleistet. Letztere ist *o*, denn jedes Theilchen ist in seine Anfangslage zurückgekehrt. Gegen die Schwere ist nur negative Arbeit geleistet, welcher ein Zuwachs an lebendiger Kraft entsprechen muß, gerade so wie jeder positiven Arbeit ein Verlust an lebendiger Kraft entspricht. Mit anderen Worten: es ist Bewegung verschwunden und diese ist als Wärme aufzusuchen, da wir keine anderen Phänomene in Folge jener Umdrehung kennen. Nennen wir Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge, welche die Gewichtseinheit Wasser um 1° der 100theiligen Scala erwärmt, und *k* die lebendige Kraft der Bewegung, welche dieser Wärmemenge entspricht, so ist *k* das mechanische Aequivalent der Wärme. Der erste Hauptsatz der Theorie sagt dann aus:

Diese Quantität Luft brauchte nicht alle im Blatt gelöst zu sein. Es läßt sich aber nach dem Partialdruck und den Absorptionscoëfficienten der drei Gase CO_2, O, N ungefähr angeben, wieviel der Gase in 1 l Wasser gelöst werden. Und aus der Blattmasse in Liter Wasser ausgerechnet, ließe sich angeben, auf welches Volum jene Gasmasse von 2,5 cbm im Durchschnitt pro Tag oder Stunde durch Absorption comprimirt werden mußte.

b) Die innere Arbeit Ai'.

Die feste Masse in 1 g der Substanz, oder besser gesagt die Masse, welche dasjenige Volum allmälig ausfüllt, welches später einem Gramme der Holzmasse entspricht, durchströmte den Baum einmal als Lösung in

---

In jedem bewegten System von materiellen Punkten ist der Zuwachs an lebendiger Kraft der sichtbaren Bewegung plus der mit k multiplicirten Wärmemenge, welche bei der Bewegung des Systems entstand, plus der geleisteten Arbeit gleich Null.

Ein experimentelles Hinderniß für die hierhergehörigen Erscheinungen beruht darin, daß wir nicht alle Kräfte kennen, gegen welche Arbeit geleistet wird. Diese Schwierigkeit ist zu umgehen, wenn man die in Betracht kommenden Maschinen, in welchen unbekannte Kräfte vorkommen, immer wieder in die Anfangslage zurückführt. Ist alsdann die innere Arbeit gleich o, so lautet der Satz: «Bei jedem Proceß, nach dessen Beendigung die Theile des Systems wieder in der Anfangslage sind, ist die Summe aus der mit k multiplicirten erzeugten Wärmemenge plus der geleisteten Arbeit gleich Null». Wir können eine ideale Maschine durch einen solchen Kreisproceß führen. Es seien in einem Cylinder ein Gasvolum v, welches unter einem hermetisch schließenden, aber verschiebbaren Stempel p abgeschlossen, p der Druck, t die Temperatur des Gases im Beginn des Processes. Verringern wir den Druck ganz allmälig, so wächst v von e nach g. In den nachfolgenden Coordinaten, Fig. 429, ist dieser Zustand des Gases durch die Ordinate b definirt. Bei dem Uebergange a nach b aber soll die Temperatur constant bleiben, indem wir dem Apparat von einem Wärmereservoir R Wärme zuführen. Ist der Druck von p auf p' gesunken und das Volum v auf v' gewachsen, so wird R entfernt, nun aber die Verringerung der Belastung ebenso allmälig fortgesetzt. Das Volum wächst jetzt nach v_2, der Druck sinkt jetzt rascher in Folge davon, daß die Temperatur sinkt. Der Punkt c, Fig. 429, stellt jetzt den Zustand des Gases dar. Nunmehr kehren wir den Proceß um, indem wir den Stempel belasten. Der Druck wächst, das Volum sinkt. Die Temperatur aber erhalten wir constant, indem wir den Apparat mit einem zweiten Reservoir R_2 in Verbindung bringen, welches die Wärme dem Gase entzieht. Der Zustand ist jetzt durch d in Fig. 429 dargestellt. Endlich entfernen wir das (Kälte-) Reservoir und setzen die Pressung fort, es erfährt das Gas wieder Temperaturzuwachs. Das Volum sinkt, der Druck wächst, der Anfangszustand a, Fig. 429, wird erreicht, und wir haben einen umkehrbaren Kreisproceß beschrieben. Die Arbeiten, welche in demselben geleistet wurden, sind, wenn wir die Strecken ab, bc, cd, da, Fig. 429, unendlich klein lassen, so daß die Figur ab, cd von geraden Linien eingeschlossen ist, die folgenden:

1° von a nach b ist die Arbeit gleich dem Product aus der Volumvergrößerung in den gegenwirkenden Druck, also gleich $\overline{eg}$, bg, also entspricht sie der Fläche $abge$;

2° von b nach c ist sie gleich $\overline{gh}$, ch, entsprechend der Fläche b, c, h, g;

ſeiner ganzen Länge. Der kürzeſte Weg eines Molecules, welches ſpäter in dem Gramm feſter Holzſubſtanz einkehrt, erſtreckte ſich vom Boden nach dem erſten verdunſtenden und aſſimilirenden Blatte. Ehe das Molecul an dem gegebenen Orte feſtgehalten wird, kann es dieſen Weg mehreremale, mindeſtens 2mal, zurückgelegt haben. Hier iſt es unmöglich, aus den vorhandenen außerordentlich complicirten Bahnen und Bewegungsurſachen ein Maß der geleiſteten Arbeit aufzuſuchen (m. ſ. S. 422 ff.).

Dasſelbe Gramm der feſten Subſtanz endlich wird von Zelle zu Zelle bald flüſſig, bald feſt, als Zucker und transitoriſche Stärke u. ſ. f., und kann, wenn es endlich als dauernd feſte Holzmaſſe niedergeſchlagen wird, ſo vertheilt

---

3⁰ von *c* nach *d* erhalten wir *c, d, f, h;*

4⁰ « *d* « *a* « « *d, a, e, f;* giebt man den beiden letzteren das negative Zeichen und addirt die Arbeitsflächen, ſo bleibt als Reſt die poſitive Arbeit *a b c d*. Die äußere Arbeit ergiebt ſich indeß leicht: Sei q der Querſchnitt des Cylinders, ſo iſt der anfängliche Druck $p\,q$; ſei ferner $d\,h$ die Strecke, um welche p zurückgeſchoben wird, ſo iſt die Arbeit $p \cdot q \cdot d\,h$. Nun iſt aber $q \cdot d\,h$ nichts anderes, wie die Volumvergrößerung des Gaſes $d\,v$, die ganze äußere Arbeit iſt ſomit

$$\int p\,d\,v = a.$$

Wenn nun q die aus R_1 zugeführte, q_1 die nach R_2 abgeführte Wärmemenge bedeuten, ſo iſt

$$q - q_1 = \frac{1}{k}\,a,$$

und nach n maliger Wiederholung des Proçeſſes iſt $n\,a = A_1\,Q = n\,q \cdot Q_1 = n\,q_1$, ſo iſt nothwendig

$$Q - Q_1 = \frac{1}{k}\,A.$$

Die Arbeit wurde in unſerer «Gasmaſchine» aus Wärme geſchaffen, indem wir Wärme von dem wärmeren R nach dem kälteren Reſervoir R_1 übergehen ließen. Es läßt ſich allgemein zeigen, daß nur auf dieſem Wege Arbeit gewonnen werden kann. In keiner anderen Maſchine kann die dabei aufgewandte Wärmemenge kleiner ſein wie in unſerem Apparat. Der Proceß kann umgekehrt werden, indem wir zuerſt von a nach d gehen, den Weg *a d c b* ausführen. Alsdann ſtellt dasſelbe Parallelogramm eine negative Arbeit dar, und anſtatt eines Wärmeverluſtes tritt ein Wärmegewinn auf. Es mögen nun zwei ſolcher Maſchinen mit den beiden Reſervoiren R und R_1 arbeiten, die eine M im erſten Sinne, indem ſie von R die Wärmemenge Q^1 nimmt, nach R_1 die Wärmemenge $Q_1{}^1$ überträgt und die poſitive Arbeit A leiſtet; die andere Maſchine M_1 arbeite umgekehrt, nehme von R_1 die Wärmemenge Q_1 an und gebe an R die Wärmemenge Q ab, leiſte dabei aber die negative Arbeit $-A$. In der folgenden Tabelle ſei Wärmeverluſt und -Gewinn aus R und R_1 zuſammengeſtellt:

Maſchine.	Ref. R.	Ref. R_1.	Arbeit A.
M^1	$-Q_1$	$+Q_1{}^1$	$+A$
M	$+Q$	$-Q_1$	$-A$

sein, daß es in Jahrringen von der Disgregation der Fig. 428 *a II* oder aber von der Digregation Fig. 428 *e III*, an einem und demselben Baume zum

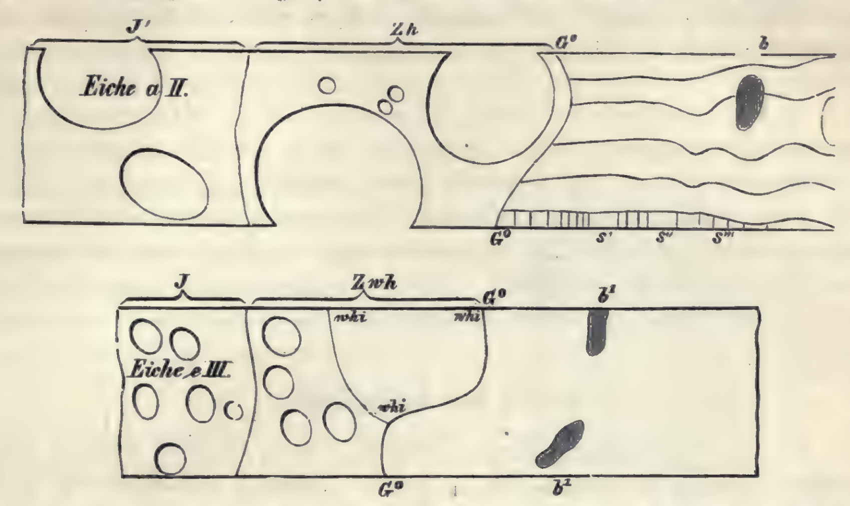


FIG. 428. Erklärung: Eiche, Ei *II* Ast, Ei *III* Zweig der letzten Ordnung. *J* vorjähriger Ring. *Zwh*, *Zh* Holzzuwachs. *GG* Grenze zwischen Holz und Rinde. b^1, b^2, b^3 . . . Bastbündel. s', s'' Leitzellen (Siebröhren). *whi* Insel von Winterholz. Vergrößerung bei allen $^{108}/_1$.

Da nun die Arbeiten sich gegenseitig aufheben, was aus der Congruenz der Figuren *a b c d* und *a d c b* erhellt, so muß auch die Summe der verlorenen und gewonnenen Wärmemengen gleich Null sein, d. h. $Q - Q^1 = Q_1{}^1 - Q_1$.

Da nun Wärme nur von wärmeren nach kälteren Körpern überfließen kann, nicht umgekehrt, so muß

$$Q \overline{\overline{<}} Q^1 \text{ und } Q_1 \leqq Q_1{}^1 \text{ sein.}$$

Denken wir uns nun, M^1 habe den umgekehrten Proceß beschrieben, so wäre M^1 an Stelle von M und M an die von M^1 zu setzen, und es resultirten dann die Ungleichungen

$$Q_1 \overline{\overline{<}} Q \text{ und } Q_1{}^1 \leqq Q_1,$$

welche gegen die vorigen einen Widerspruch enthalten, der nur gehoben ist, wenn

$$Q = Q^1 \text{ und } Q_1 = Q_1{}^1.$$

In allen Maschinen, welche umkehrbare Processe zulassen, ist der Wärmeverlust am kleinsten und steht immer in demselben Verhältniß zur geleisteten Arbeit. Die Wärmemengen Q, Q_1 können nur Functionen von $t\ t_1$ und müssen unabhängig von der Construction und Größe der Maschine, sowie der Größe der Arbeit sein. Jedenfalls ist, wenn f eine unbekannte Function bedeutet,

$$\frac{Q}{Q_1} = f(t\ t_1),$$

und da wir die Indices vertauschen können,

$$f(t\ t_1) \cdot f(t_1\ t) = 1.$$

Nehmen wir jetzt statt zwei Behälter deren drei R, R_1, R_2 mit den beziehentlichen

Vorschein kommt. Diese im Innern geleistete Arbeit ohne sichtbaren Ausdruck nach außen kann als Compression aufgefaßt, aber ebenfalls nicht berechnet werden. Es kommen aber jedenfalls Molecularkräfte von ungeheurer Wirkung hiebei zum Ausdrucke.

Der letzte Theil der innern Arbeit *Ai'*

kann allein experimentell bestimmt werden. Es ist die Verbrennungswärme. Für Cellulose ist diese für 1 g Holz 3300 Calorien.

Es berechnet sich somit die durch Verbrennung des ganzen Baumes gewonnene Arbeit zu 3187 Mill. Kilogrammeter, eine Arbeit, welche durch ein Pferd in 4 Jahren geleistet wird. Der Baum aber hat im günstigsten Fall bei uns (wenn wir TH. HARTIG's Rechnung zu Grunde legen) 100 Jahre gebraucht[1]).

D. Ort der Assimilation.

Die Herde assimilatorischer Thätigkeit liegen im Blatt und in allen grünen Theilen, in welche das Licht noch merklich eindringt, so z. B. die Rinde wenigjähriger grüner Zweige.

[1]) Das mechanische Aequivalent der Wärme wurde gefunden zu 426 M. REGNAULT, MAYER, CLAUSIUS; 425 M. JOULE; 413 M. FAVRE; 413 M. CLAUSIUS; 452 M. JOULE; 443 M. FAVRE; 420 M. WEBER und JOULE; 425 M. HIRN. 424 M. dürfte am zuverläſſigſten sein.

Temperaturen $t > t_1 > t_2$ und stellen drei Versuche an, indem wir je zwei zusammen benutzen.

Benutzt sind:	R	R_1	R_2	Arbeit.
R und R_1	$-Q$	$+Q_1$	—	$+A$
R_1 « R_2	—	$-Q_1$	$+Q_2$	$+A$
R_2 « R	$+Q^1$	—	$-Q_2{}^1$	$-2A$

Die Summe der Arbeiten ist nun hier wieder gleich Null; folglich

$$Q - Q_1 = Q_2 - Q_2{}^1.$$

Wäre nun $Q - Q^1 > o$, so müßte Wärme aus einem kälteren nach einem wärmeren Körper geströmt sein, wäre $Q - Q^1 < o$, so würde man, alle Processe umgekehrt gedacht, zur selben Folgerung kommen, daher kann nur

$$Q = Q^1 \text{ und } Q^2 = Q_2{}^1 \text{ sein.}$$

Da, wie aus dem Vorstehenden sich ergiebt, die Function $f(t_1\, t_2)$ immer dieselbe ist, können wir schreiben:

$$\frac{Q}{Q_1} = f(t\, t_1),\ \frac{Q_1}{Q_2} = f(t_1\, t_2),\ \frac{Q_2}{Q_1} = f(t_2\, t),$$

woraus folgt:

$$f(t\, t_1)\,.\,f(t_1\, t_2)\,.\,f(t_2\, t_1) = 1 \text{ und}$$

1. Der Chlorophyllkörper[1]).

In dem Blatte ſelbſt iſt es wiederum eine beſtimmt geformte Protoplasmamaſſe, der Chlorophyllkörper, in welchem die Aſſimilationsproducte zuerſt auftreten.

Das Pigment iſt bei den Oscillarien continuirlich. Bei Anthoceros befindet ſich ein einziger Chlorophyllkörper in der Zelle. Bei den höheren Pflanzen iſt das Pigment ſtets an individualiſirte ſphäriſche Plasmakörper gebunden, welche dem farbloſen Wandbeleg des Protoplasma eingebettet ſind.

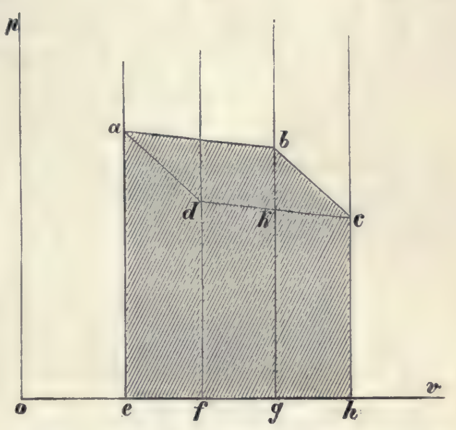


Fig. 429. Schema des umkehrbaren Kreisproceſſes. Die Ordinate o nach p ſtellt den Druck, die Abſciſſe o nach v das Volum dar.

2. Differenzirung im Dunkeln.

Die Zerklüftung der Protoplasmamaſſe in ſolche Träger des Pigments geſchieht auch im Dunkeln, ſie iſt ſomit unabhängig vom Lichte. Das Pigment aber, welches im Dunkeln an etiolirten Pflanzen auftritt, iſt ein gelbes.

[1]) H. v. Mohl, Ueber den Bau des Chlorophylls. Bot. Ztg. 55. S. 89.

$$f(t_1 t_2) = \frac{1}{f(t t_1) \cdot f(t_2 t)} = \frac{f(t t_2)}{f(t t_1)}.$$

Laſſen wir t conſtant ſein und t_1, t_2 variabel, ſo erhalten wir eine Function von zwei Argumenten ausgedrückt durch zwei Functionen mit einem Argument. Bezeichnen wir allgemein $f(\text{conſt. } t_k) = T_k$, ſo kommt:

$$\frac{Q}{Q_1} = f(t t_1) = \frac{f(\text{conſt. } t)}{f(\text{conſt. } t_1)} = \frac{T}{T_1}, \text{ oder } \frac{Q}{T} - \frac{Q_1}{T_1} = 0$$

und mit Hilfe der bereits bekannten Beziehung $Q - Q_1 = \frac{1}{k} A$

$$Q = \frac{1}{k} A \frac{T}{T - T_1}, \quad Q_1 = \frac{1}{k} A \frac{T_1}{T - T_1}.$$

Dieſe Formeln laſſen die Wärmemenge erkennen, mit welchen eine beſtimmte Arbeit geleiſtet wird. Wir erſehen daraus, daß, um je verſchiedener T und T_1 ſind, ein um ſo größerer Theil von Q in Arbeit verwandelt wird. Gäbe es einen Werth von t_k, für welchen $T_k = 0$ wäre, und ſetzte man dieſen für t_1, ſo bekämen wir $Q = \frac{1}{k} A$, d. h. die ganze entzogene Wärmemenge würde ſich in Arbeit umſetzen.

Es iſt ſpäter zu zeigen, daß $T_k = 0$ wird für den ſogenannten Nullpunkt der Temperatur. Die Gleichung läßt ſich verallgemeinern. Nennen wir $Q_1, Q_2, Q_3 \ldots Q_n$ die

3. Ergrünen im Lichte.

Mit Ausnahme der Farrenprothallien und der Coniferen-(Abietineen-) Keimlinge, welche im Dunkeln ſich grün färben, unterbleibt im Finſtern bei faſt allen höheren Pflanzen die Bildung des grünen Pigmentes. Erſt bei der Beleuchtung, wennſchon nur in diffuſem Tageslichte raſcher wie im directen Sonnenlicht, tritt das Ergrünen ein. Etiolirte (vergilbte) Keimlinge bilden in kurzer Zeit unter dieſer Bedingung das grüne Pigment aus.

Die Ergrünung tritt auch im Innern der heranwachſenden, ſpäter für das Licht undurchdringlichen Früchte ein, ſo färben ſich die Cotyledonen bei Evonymus und bei den Cruciferen ſchon während der Samenreife. Die Nadelhölzer aber gerade beſitzen im Samenzuſtand farbloſe Cotyledonen.

4. Amylumeinschlüsse.

In faſt jedem Chlorophyllkörper der höheren Pflanzen tritt das wichtigſte Aſſimilationsproduct, das Stärkemehl, in Form kleiner Kügelchen

---

poſitiven oder negativen Wärmemengen, welche aus den Reſervoiren $R_1, R_2, R_3, \ldots R_n$ aufgenommen worden ſind, ſo iſt

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + \ldots \frac{Q_n}{T_n} = 0.$$

Wir ſehen, daß für $n = 2$ die Gleichung mit der früheren übereinſtimmt, denn der Unterſchied des Zeichens rührt nur daher, daß mit $Q_1, Q_2, \ldots Q_n$ die negativen jetzt als poſitive Wärmemengen bezeichnet werden.

Dem Beweis dieſes zweiten Hauptſatzes der mechaniſchen Wärmetheorie werden wir einen Hilfsſatz vorausſchicken.

Es ſeien zwei umkehrbare Maſchinen M und M_1, die bei gleicher Arbeit die beziehentlichen Mengen

$$Q_1, Q_2, \ldots Q_n \text{ und}$$
$$Q_1^1, Q_1^2, \ldots Q^1_n$$

von eben ſo vielen Reſervoiren aufnehmen, ſo behaupten wir, daß wenn die $n - 2$ erſten dieſer Mengen einander gleich ſind, die beiden letzten Paare es auch ſein müſſen; denn kehren wir bei einer jener Maſchinen den Proceß um, ſo erhalten wir

$$A - A^1 = 0,\ Q_1 - Q_1^1 = 0, \ldots Q_{n-2} - Q^1_{n-2} = 0,$$
$$\text{folglich auch } Q_{n-1} - Q^1_{n-1} = 0,\ Q_n - Q^1_n = 0.$$

Da aber von einem kälteren nach einem wärmeren Körper Wärme nicht ſtrömen kann, ſo iſt

$$Q_{n-1} = Q^1_{n-1}\ ;\ Q_n = Q^1_n,$$

und damit der Beweis geliefert. Zu dem Hauptſatz zurückkehrend nehmen wir eine Maſchine, M^1, welche den Reſervoiren

$R^1, R^2, \ldots R_n$ die Wärmemengen
$Q^1, Q^2, \ldots Q_n$ entzogen hat (wobei $Q_k < 0$ ſein kann),

und wir wollen nun, durch wiederholte Anwendung unſerer umkehrbaren Maſchine M, den Reſervoiren R gerade zurückerſtatten, was ſie verloren hatten:

oder punktförmiger Körperchen auf und kann, nachdem das mikrofkopifche Präparat mit Kalilauge behandelt ift, durch Jod nachgewiefen werden. Das mikrofkopifche, eben an der Grenze der Sichtbarkeit ftehende Niederfchlagskorn, Fig. 430*v*, wird durch die Kalilauge zum Quellen, alfo auf ein größeres Volum gebracht. Werden Pflanzen zeitweife verdunkelt, fo fchwindet der Amylumniederfchlag. Er wird zur Athmung verbraucht. Wenige Secunden nach der erneuten Beleuchtung, ja man könnte fagen, faft inftantan mit diefer, treten wieder kleine Amylumkörnchen auf. In allen etiolirenden Keimlingen fchwindet der Stärkevorrath, wenn er nicht von einem größeren Stärkerefervoir zugeleitet wird.

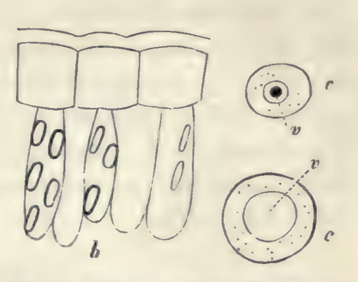


Fig. 430. Schematifche Durchfchnittsparthie durch das Laubblatt. *c* Chlorophyllkörner ftärker vergrößert mit Amylumeinfchlüffen.

Das Amylum findet fich indeß auch bei chlorophylllofen Parafiten, fo in der Orobanche und in den ruhenden Sporen von Saprolegnia.

Beim Verdunkeln der ganzen Pflanze verfchwindet das Amylum zuerft in der Nähe der Wurzelgefäßbündel, fodann im Stamm, zuletzt im Chlorophyllkorn. Bei nunmehriger Beleuchtung tritt es im Chlorophyllkorn zuerft auf.

Mafchine.	R_1	R_2	R_{n-2}	R_{n-1}	R_n
M^1	Q_1^1	Q_2^1	Q_{n-2}	Q_{n-1}	Q_n
M	q	q_2^1	—	—	—
—	—	q_2	—	—	—
—	—	—	q^1_{n-2}	—	q^1_n

Hiebei wird offenbar fein müffen:

a) $$q_1 = Q_1^1\ ,\ q_2 + q_2^1 = Q_2^1\ \ldots\ q_{n-2} = Q^1_{n-2},$$

weil nach dem foeben bewiefenen Satz weiter folgt:

$$q_{n-1} + q^1_{n-1} = Q^1_{n-1}\ ;\ q^1_n = Q^1_n.$$

Es fragt fich nun, da die Größen $q_1, q_2 \ldots q_n$ nicht von einander unabhängig find, fondern nach den Bedingungen:

b) $$\frac{q_1}{T_1} + \frac{q_2^1}{T_2} = o\ ;\ \frac{q_2}{T_2} + \frac{q_3}{T_3} = o \ldots ;\ \frac{q_{n-1}}{T_{n-1}} + \frac{q_n}{T_n} = o$$

genügen müffen, ob diefe Größen eine reelle Bedeutung haben. Diefe Frage läßt fich analytifch bearbeiten. Als Unbekannte haben wir nämlich

$$q_1,\ q_2,\ \ldots\ q_{n-1}\ ;\ q_2^1,\ q_3^1,\ \ldots\ q^1_n,$$

alfo 2 $(n-1)$ an der Zahl. Als Gleichungen haben wir die unter a), und noch dazu, weil ja die Arbeiten beider Mafchinen einander gleich fein follen:

c) $$q_1 + q_2 + \ldots q_{n-1} + q_2^1 + q_3^1 + \ldots q_n = Q^1 + Q_2^1 + \ldots Q^1_n,$$

und diefe machen zufammen auch 2 $(n-1)$. Die Löfung ift alfo reell.

5. Eisen ein Constituent des Chlorophylles.

Mit dem Blutkörperchen theilt das Chlorophyllkorn die Eigenſchaft, daß die Bildung des Pigmentes von der Gegenwart des Eiſens abhängig iſt. Die in abſolut eiſenfreien Böden oder Löſungen erzogenen Pflanzen werden blaß (chlorotiſch). Führt man ſolchen Pflanzen Eiſenſalze durch den Boden zu, ſo ergrünen ſie von unten nach oben, die Ergrünung ſoll ſelbſt inſtantan auftreten, wenn die chlorotiſchen Blätter mit Eiſenlöſung beſtrichen werden.

6. Theilung und Lagenänderung.

Böhm hat zuerſt darauf aufmerkſam gemacht, daß die Chlorophyllkörper in dem Wandbeleg oder allgemein in dem Zellenraum nicht ſtabile Lage beſitzen, ſondern ſpontane Bewegungen ausführen.

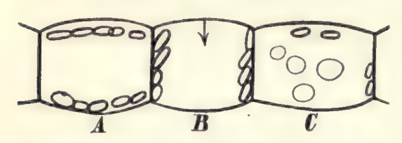


Fig. 431. Schematiſche Darſtellung der Lage der Chlorophyllkörper in den Blättern der Mooſe. Mit dem Pfeil fällt das Licht ein. *A* Apoſtrophe. *B* Epiſtrophe. *C* Indifferenzlage (nach Frank).

In einem und demſelben Blatte der Mooſe, oder im Prothallium der Farrenkräuter, kann man die verſchiedenen Lagen der Chlorophyllkörper erkennen. Fig. 431 *B* zeigt alle Körner an der Wand, welche ſenkrecht zur Ebene des Blattes und parallel dem ſenkrecht zu dieſer einfallenden Lichtſtrahl ſtehen. Denken wir uns einen Durchſchnitt ſenkrecht zur Blattfläche gelegt, ſo erſcheinen die Körner in drei Hauptlagen, Fig. 431.

Sie liegen auf der Wand, welche dem Lichte zugekehrt oder auf der zu dieſer entgegengeſetzten, Fig. 431 *A*, die Epiſtrophe nach Frank. Dieß

Addiren wir die Gleichungen unter b), ſo kommt

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + \ldots \frac{Q_n}{T_n} = 0;$$

haben wir durch den einen Kreisproceß die Wärmemengen $q_1, q_2 \ldots q_n$ umgeſetzt, ſo wiſſen wir die neuen Wärmemengen $q_1, q_2, \ldots q_n$ ſo zu beſtimmen, daß die $(n-2)$ erſten Summen $q_1 + q_1^1, q_2 + q_2^1 \ldots q_{n-2} + q^1_{n-2}$ ſämmtlich verſchwinden. Da nun die Arbeiten auch gleich ſind, ſo haben wir

a) $$q_n - q^1_n = q_{n-1} - q^1_{n-1} \overline{\overline{<}}\ 0.$$

Setzen wir nun auch $q_1 + q_1^1 = Q_1$, $q_2 + q_2^1 = Q_2$ u. ſ. f. und betrachten alſo die beiden Proceſſe als in einen verſchmolzen, ſo wird:

b) $$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + \ldots \frac{Q_n}{T_n} = \frac{q_{n-1} - q^1_{n-1}}{T_{n-1}} + \frac{q_n - q^1_n}{T_n} = q_{n-1} - q^1_{n-1}\left(\frac{1}{T_{n-1}} - \frac{1}{T_n}\right).$$

ist die Lage, welche dem Maximum der Energie entspricht, weil das mit dem Pfeil eintretende Licht die vollste Ausnützung erfährt. In Fig. 431 *B* liegen die Körner an der Wand, welche senkrecht zur Blattfläche steht, Apostrophe, oder unter derselben Beziehung die Lage im Minimum der Energie. In Fig. 431 *C* endlich ist der Indifferenzzustand dargestellt, welcher meistens in der Jugend der Zelle herrscht. Nach der Auffassung Frank's durchläuft die Chlorophyllzelle, wie jeder Organismus, eine Phasenreihe, in welcher bestimmte Bewegungsformen der Jugend, andere dem Alter zukommen[1]).

7. Auffällige Form der Chlorophyllzellen.

Zur Ausnutzung des Lichtstrahles sind in auffälliger Weise die Chlorophyllzellen des Laubblattes der Bäume eingerichtet. Sie besitzen die Gestalt von Prismen, welche senkrecht zur Blattfläche orientirt sind. Eine auffällige Differenzirung dieser Art fehlt in der Nadel der Piceaarten, bei welchen der Lichteinfluß nach allen Richtungen des Nadeldurchmessers nahezu der gleiche ist.

8. Die Strahlengattung, welche das Pigment bildet,

ist bis jetzt nicht genau ermittelt. Die einzigen Angaben hierüber verdanken wir Sachs (Handbuch der Exp.-Phys. der Pflanzen). Er zeigt, daß Pflanzen, welche hinter einer das Licht zum Theil absorbirenden Chlorophylllösung wachsen, noch zur Pigmentbildung gelangen[2]).

Die experimentelle exacte Untersuchung müßte so ausgeführt werden, daß ein starkes objectives Spectrum der Sonne auf etiolirte Blätter geworfen wird. Die chlorophyllbildenden Strahlen würden dann eine Photographie in grüner Farbe hinterlassen. Solchem Versuche stehen große Schwierigkeiten entgegen, die zum Theil darin begründet sind, daß die Pigmentbildung immer sehr langsam verläuft.

9. Zerstörung des Pigmentes in lebenden und todten Pflanzen.

Dieselbe Kraft, welche das Pigment bildet, zerstört es auch. Man muß sich vorstellen, daß das Leben der grünen Pflanze auf diesem Verhältniß beruht, daß unter dem Einfluß von Licht mindestens zwei Uebergänge stattfinden:

---

[1]) Frank, Pringsh. Jahrb. 1871.

[2]) Es ist zu bemerken, daß von Strahlen, welche in bedeutende Tiefen in's Blatt eindringen, nur das äußerste Roth bis zur Linie *B*, ferner die Strahlengruppen von *C* bis in die Nähe der Natronlinien (die Gruppe *D*) vorherrschen. Alle anderen werden, so namentlich Blau und Violett, in der einfachen, doppelten oder höchstens dreifachen Blattlage vollständigst absorbirt.

a) aus einer unbekannten Verbindung wird Chlorophyllpigment gebildet,

b) dieſes ſetzt ſich in Kohlehydrate (Amylum) um und wird dabei als Farbſtoff zerſtört.

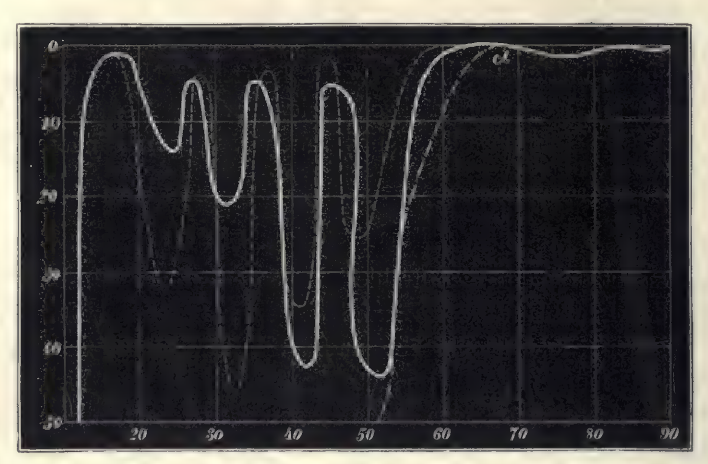


Fig. 432. Die ſtark ausgezogene Curve ſtellt die Abſorption des normalen Chlorophyllpigmentes, die ſchwach punktirte diejenige des durch die Einwirkung des Lichtes zerſetzten dar. Die Curve α nach 50 ſcheidet endlich die Coordinatenfläche 0, 50 . 90 in zwei Theile, 0 α iſt der Theil des durchgehenden, α 50 . 90 der Theil des abſorbirten Lichtes für Xanthophyll (nach Timirjaseff).

Werden grüne Pflanzenblätter ſtark beſtrahlt, ſo zerſetzt ſich, wenn der Tod des von der Pflanze abgelöſten Blattes eintritt, ſehr bald das Grün. Es treten innerhalb 20—30 Minuten braune und gelbe Pigmente auf, welche das Blatt für chemiſche Strahlen undurchläſſiger machen.

Bedeckt man lebende Blätter nach Sachs mit Stanniolbändern, ſo liefern dieſelben nach der Beſtrahlung eine Abbildung der beſtrahlten Stelle, welche dunkler auf hellem Grunde erſcheint.

Amylum- und Chlorophyllbildung ſtehen in dieſer Beziehung zu einander: bei Verdunkelung grüner Pflanzen verſchwindet zuerſt das Amylum, zuletzt das Pigment.

10. Der Chlorophyllkörper ein Organismus.

Die Schwärmzellen der Algen, die Gonidien der Flechten ſind Zellen, welche Chlorophyllplasma enthalten und längere Zeit eine ganz ſelbſtändige Exiſtenz führen. Während dieſer Zeit führen ſie nicht unbedeutende Bewegungen aus, ſie leiſten Arbeit und decken den Wärmeverluſt durch die Verbrennung der Amylumeinſchlüſſe. Sie ſtellen, da ſie andererſeits auch unter dem Einfluſſe des Lichtes die Rohnährkörper zu aſſimiliren vermögen, den vollkommenſten Apparat dar. In ganz ähnlichem Sinne iſt der Chlorophyllkörper der höheren Blattpflanze als ſelbſtändiger Organismus aufzufaſſen.

11. Function der Laubblätter.

In jeder Maſche zwiſchen den letzten Endigungen der Nerven im Laubblatte treffen die zwei wichtigen Ströme, derjenige aus der Wurzel und der Gasſtrom (ſ. § 25 C.) zuſammen. In den Zellen dieſer Gewebe-

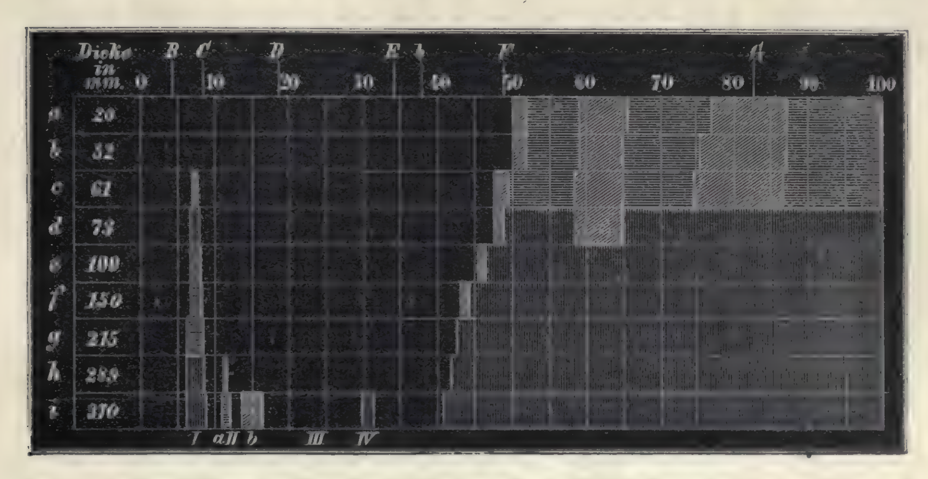


Fig. 433. Abſorptionsſpectrum des Alkoholetiolin (nach Pringsheim). Die Abſciſſenrichtung iſt in die Fraunhofer-ſchen Linien *B* bis *G* getheilt. Am linken Rande ſind die Dicken in mm der durchſtrahlten Schichten für eine Löſung mittlerer Concentration von oben nach unten wachſend verzeichnet, bei *a* geht alles Licht bis in die Nähe der Fraunhofer'ſchen Linie *F* hindurch; bei *c* fängt der Abſciſſenſtreifen *I* des Chlorophylls, bei *h* erſt der Streif *II*, bei *i* erſt ſind alle Chlorophyllſtreifen ſichtbar.

elemente werden, wennſchon in ganz verdünnten Löſungen, alle Körper vereinigt, welche zur Bildung organiſcher Pflanzenſubſtanz erforderlich ſind. Durch die Verdunſtung der Laubblätter werden die Löſungen zunächſt concentrirt.

12. Durchleuchtung des Pflanzenblattes.

In Folge der anatomiſchen Structur werden die parallelen Strahlen der Sonne bei dem Durchgang durch ein grünes Blatt außerordentlich zerſtreut. Der Strahl eilt wechſelnd durch waſſergefüllte Zellen und Lufträume. Die ſphäriſchen Chlorophyllkörper wirken ſelbſt wie Sammellinſen von außerordentlich großem Oeffnungswinkel. Die Folge davon iſt, daß das Spectrum des lebenden Blattes nicht ſo ſcharf begrenzt iſt und nicht ſo ſcharfe Abſorptionslinien zeigt wie eine klare Alkohollöſung des Chlorophylles. Immerhin kann mit Hilfe ſehr lichtſtarker objectiver Spectra gezeigt werden, daß das grüne Blatt in der Abſorption und Fluoreſcenz mit dem Chlorophyll in Löſung übereinſtimmt.

Die weſentlichen Phänomene der Abſorption im lebenden Pflanzenblatt ſind dieſe:

1⁰ die photographiſch wirkſamen Strahlen werden ſchon in der einfachen oder höchſtens in der doppelten Lage der Blätter vollſtändig abſorbirt;

2⁰ von den ſieben Abſorptionsſtreifen, welche mit Hilfe des Spectroſkopes in der Chlorophylllöſung nachgewieſen werden, erſcheinen im Blatte nur drei, nämlich *I* im Roth, *II* im Gelb und das Abſorptionsband in dem ſtärker brechbaren Theil des Sonnenſpectrums.

13. Absorption der chemischen Strahlen.

HELMHOLTZ[1]) hat zuerſt darauf aufmerkſam gemacht, daß die Photographieen von Landſchaften, in welchen pflanzengrüne Flächen vorherrſchen, im poſitiven Bilde auffällig ſchwarz erſcheinen, daß ſomit der Negativſilberſchicht von den grünen Pflanzentheilen nur eine verſchwindend kleine Menge chemiſch (photographiſch) wirkſamen Lichtes zuſtrahlte[2]).

Legt man, wie ROSCOE zuerſt verſuchte, grüne Pflanzenblätter auf Chlorſilberpapier und läßt die Sonne hindurchſcheinen, ſo geht durch die grünen Flächen zwiſchen den Nerven ſehr wenig photographiſch wirkſames Licht hindurch. Die Nerven aber, wenn ſie nicht wie bei der Blutbuche gefärbt ſind, laſſen merkliche Spuren des chemiſch wirkſamen Lichtes hindurch. Es entſteht ein negativer Abdruck der Nervatur und der Blattfläche. Vergleicht man zahlreiche Blätter, deren Negativ auf dieſelbe Fläche von Chlorſilberpapier während derſelben Intenſität und Dauer der Beſtrahlung hergeſtellt wurde, ſo erhält man das Maß für den Schatten derſelben, wenn man mit dem Negativ ein poſitives Bild wiederum auf Chlorſilberpapier herſtellt. Dieſes Poſitiv giebt in der Tiefe des Tones den Grad der Abſorption für photographiſch wirkſames Licht an.

Die doppelte Lage der Blätter ſämmtlicher unterſuchter Bäume läßt das chemiſch wirkſame Licht ſo gut wie nicht hindurch. Die Nervatur wird nur bei zwei Bäumen noch ſichtbar, bei der Eſche und der Robinie.

a) Der Schattengrad der Geſammtfläche in der einfachen Blattlage wird am beſten ermittelt, indem man in einen Cartonſtreifen zwei rechteckige Löcher ſchneidet und dieſe ſo auf das Poſitiv legt, daß man in einer Oeffnung den Schatten der einfachen neben demjenigen der doppelten Lage gleichzeitig ſieht. Der Contraſt dieſer beiden Flächen ermöglicht einen Vergleich zwiſchen je zwei Bäumen, und aus zahlreichen Beobachtungen läßt ſich eine Scale aufſtellen, welche freilich nur auf den geringen Werth Anſpruch macht, den ſubjective Lichtmeſſungen überhaupt haben können.

---

[1]) HELMHOLTZ, Wechſelwirkung der Naturkräfte. Königsberg 1854. S. 36.

[2]) A. MAYER, Lehrbuch der Agrikulturchemie. Bd. I. S. 39. Heidelberg. Carl Winter's Univerſitätsbuchhandlung (1. Aufl. 1871).

Größter Schatten in der Geſammtfläche für photographiſches Licht.

1° Taxus (tiefrothe Blutbuche).
2° Salix alba, Erle, Roßkaſtanie.
3° Linde.
4° Phaſeolus, Kartoffel.
5° Robinie.
6° Aſpe.
7° Birke.
8° Eſche.
9° Ulme.
10° Eiche.
11° Ahorn, Buche.
12° Hainbuche, lichte Blutbuche.

Kleinſter Schatten für photographiſch wirkſames Licht.

b) Schattengrad der Chlorophyllareale. Die Beſtimmung iſt außerordentlich erſchwert durch die Kleinheit derſelben. Man führt die Vergleichung am beſten mit dem Negativ aus. Die folgende Scala konnte ich noch mit einiger Sicherheit aufſtellen:

1° die vollſtändigſte Abſorption: Taxus,
2° Aesculus, Salix alba, Alnus glutinoſa,
3° Ulme, Linde,
4° Ahorn,
5° Eiche, Buche, Hainbuche, Kaſtanie,
6° Eſche. Die unvollſtändigſte Abſorption für photographiſche Strahlen.

14. Absorption der minder brechbaren Strahlen.

Mit wachſender Dicke der Schicht oder Concentration der Blattgrün-Löſung verſchwinden wie bekannt zuerſt die ſtärker brechbaren Strahlen des Spectrums (Blau und Violett) und wohl in demſelben Maße der erſte mit der Lithionlinie zuſammenfallende Abſorptionsſtreifen, in zweiter Linie die Strahlen des zweiten und dritten Streifens (der erſtere in der Nähe der FRAUNHOFER'ſchen Linie *D*, der zweite im Grün).

Schichtet man mehrere Blätter aufeinander und läßt das Sonnenlicht unter ſenkrechter Incidenz hindurchgehen, ſo erſcheint zuletzt die Blattfläche roth von den Strahlen geringſter Brechbarkeit (äußerſte Grenze des Spectrums bis zur FRAUNHOFER'ſchen Linie *B*). Auf dieſe Strahlengruppe iſt das Erythrophytoſkop von LOMMEL, auf die Strahlengruppe des erſten Abſorptionsſtreifens im grünen Blatte (*B* bis *C*) iſt das Melanoſkop abgeſtimmt[1]). Herr LOMMEL war ſo gütig, mir ſolche Brillen zuzuſtellen; ich

[1]) Die aus zwei farbigen Gläſern combinirten LOMMEL'ſchen Brillen laſſen die Strahlengattung *BC*, Melanoſkop, und *o* bis *B*, Erythroſkop (Erythrophytoſkop), vorzugsweiſe hindurch.

war ſomit in der Lage, die Blätter verſchiedener Waldbäume für die wichtigſten Strahlengattungen abzuwägen, zu beſtimmen, wie viele Blätter des einen Baumes hintereinander geſchichtet entſprechen einer gegebenen Anzahl von Blättern eines beſtimmten anderen Baumes.

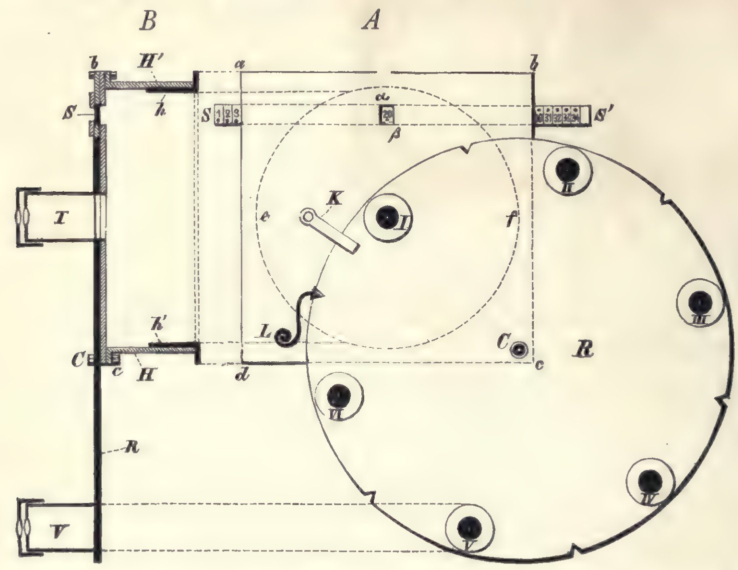


Fig. 434. Revolverapparat für die Beobachtungen über Durchleuchtung grüner Pflanzentheile.

Da dieſe Verſuche nicht an einem Tage erledigt werden konnten, ſomit verſchiedene Intenſität des Sonnenlichtes in Betracht kam, ſo wurde eine Scale von feinſtem Zeichenpapier zum Vergleichen der Intenſitäten des einfallenden Lichtes angewandt. Die Papierſtreifen, aus einem und demſelben Bogen gefertigt, werden treppenartig übereinandergeſchichtet und das ganze Syſtem von 30 bis 40 Lagen zwiſchen zwei Glasplatten gefaßt. Auf jede Treppe iſt eine Nummer und ein kreisförmiger ſchwarzer Fleck verzeichnet. Die ſo hergeſtellte Scale kann in einer Papphülſe, welche über die Oeffnung des Helioſtaten paßt, *h h'* Fig. 434, ſo verſchoben werden, daß nach und nach die verſchiedenen Schichten (Treppen) vor den lichtdurchlaſſenden Spalt *α β* Fig. 434 gerathen. Die Treppe, in welcher die Zahl und der ſchwarze Fleck ſoeben für das Auge des Beobachters im Dunkelzimmer verſchwinden, iſt die Grenze der Durchläſſigkeit.

In dieſelbe Hülſe *h h'* Fig. 434 *B*, *e f* Fig. 434 *A* wurde an den Helioſtaten ein Revolverapparat angebracht, um die Beſtimmung der Durchleuchtung grüner Baumblätter möglichſt raſch auszuführen. Die im Durchſchnitt Fig. 434 *B* ſichtbare Hülſe *H H'* trägt eine viereckige Platte *a b c d*, in welcher, außer jener Scale *S S'* geſchichteter Papierſtreifen, eine in *C* drehbare, ſechsmal durchlöcherte Scheibe befindlich iſt. In der Platte

a b c d ist innerhalb der Oeffnung des Heliostaten *e f* ein kleines kreisförmiges Loch, auf welches die Tubuli *I II* . . . *VI* mittelst Drehung und Mithilfe des Sperrhakens *L* eingestellt werden können. Die Tubuli (*V*, Fig. 434 *B*) nehmen zwischen der durchbrochenen Endfläche und einem durchbrochenen Deckel die kreisförmigen Blattabschnitte auf. Der Apparat ist demnach so eingerichtet, daß binnen wenigen Minuten 6 Beobachtungen gemacht werden können. Bei vergleichenden Untersuchungen ist somit der Fehler, welcher durch den Wechsel in der Intensität des Sonnenlichtes entsteht, möglichst klein gemacht.

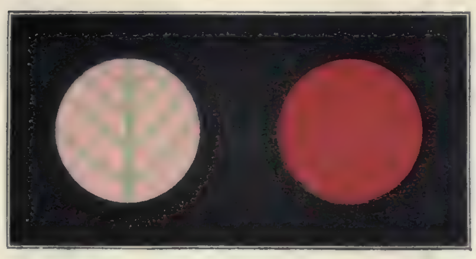


Fig. 435. Phänomene der Durchleuchtung von grünen Pflanzenblättern.

Wir geben hier die Resultate einer Versuchsreihe:

	Mit bloßem Auge.	Melanoskop.	Erythrophytoskop II.
Fraxinus excelsior			
3 Bltt.	grün	roth	roth
4 »	Nerven grün / Grünflächen braun	»	»
5 »	Nerven grün / Grünflächen roth	»	»
6 »	hellroth	»	»
7 »	tiefrubinroth	schwarz	»
8 »	»		»
9 »	dunkelroth		»
10 »	»		schwarz
11 »	schwarz		»
12 »	»		»

Die Grenze an der Lichtscala ist $= 13^0$ (d. h. die 13. Treppe).

Aus zahlreichen solchen Messungen konnte die Auslöschung für die wichtigeren Waldbäume bestimmt werden. Wir setzten die Extinctionsgröße für die Buche gleich eins und vergleichen damit diejenige der schattigeren Waldbäume. Für die Buche genügen 13 Blätter in den Hülsen jenes Revolverapparates, um die Strahlengruppe *B C* vollständig auszulöschen, für die Strahlengruppe des minder brechbaren Roth bis zur Linie *B* aber bedarf es 20 Blätter zur vollen Auslöschung; dividirt man in der nachfolgenden Tabelle mit den Coëfficienten in 13 für die erstere, in 20 für die zweite Strahlengruppe, so erhält man die Zahl der Blätter für den betreffenden Baum.

	Extinctionsgröße des einzelnen Blattes. Melanofkop.		Extinctionsgröße des einzelnen Blattes. Erythrofkop.
Buche	1	Buche	1
Hainbuche	1,182	Hainbuche	1,286
Kaftanie	1,300	Afpe	1,384
Ahorn, Blutbuche, Afpe	1,444	Kaftanie, Roßkaftanie, Spitzahorn, Wallnuß	1,384
Erle, Roßkaftanie, Wallnuß	1,625	Eiche	1,500
Linde, Efche, Ulme, Eiche	2,166	Blutbuche, Erle	1,631
		Efche, Linde, Ulme	2,000

15. Spectrum der Chlorophylllösung[1]).

Das Chlorophyll ift in Waffer außerordentlich wenig, dagegen leicht löslich in Alkohol, Aether, ätherifchen und fetten Oelen, in Benzin und vielen anderen Flüffigkeiten.

In dem Chlorophyllkörper muß es daher gelöft fein in fetten Oelen, welche auf das Innigfte mit dem Protoplasma gemifcht find. Außer den Gerinnungserfcheinungen verändert fich der Chlorophyllkörper bei der Entfärbung mit den Löfungsmitteln für das Pigment nicht.

Ueber das Chlorophyllfpectrum ift in neuerer Zeit viel gearbeitet worden. Die wefentlichen Refultate mögen hier gedrängt zufammengeftellt, dabei aber im Allgemeinen die Theorie der FRAUNHOFER'fchen Linien und der Spectralanalyfe (KIRCHHOFF, Das Sonnenfpectrum, ROSCOE, Die Spectralanalyfe, Braunfchweig, Vieweg 1870, und die Lehrbücher der Experimentalphyfik) vorausgefetzt und in anhängenden Noten nur die zum Verftändniß wichtigften Lehrfätze berückfichtigt fein.

[1]) Es mögen anbei die Wellenlängen und die Zahl der Schwingungen angegeben fein:

FRAUNHOFER'S Linie.	Wellenlänge in mm.	Zahl der Schwingungen in der Secunde bei mittlerer Sonnenentfernung in Billionen.
B	0,000 878	450
C	656	472
D	588	526
E	526	589
F	484	640
G	429	722
H	392	790

Die alkoholische Lösung des Chlorophylls besitzt bei genügender Verdünnung sieben Absorptionsstreifen, Fig. 436. Die Strahlengruppe *B C* wird am vollständigsten absorbirt. Sodann liegt ein Streifen vor *D*, einer

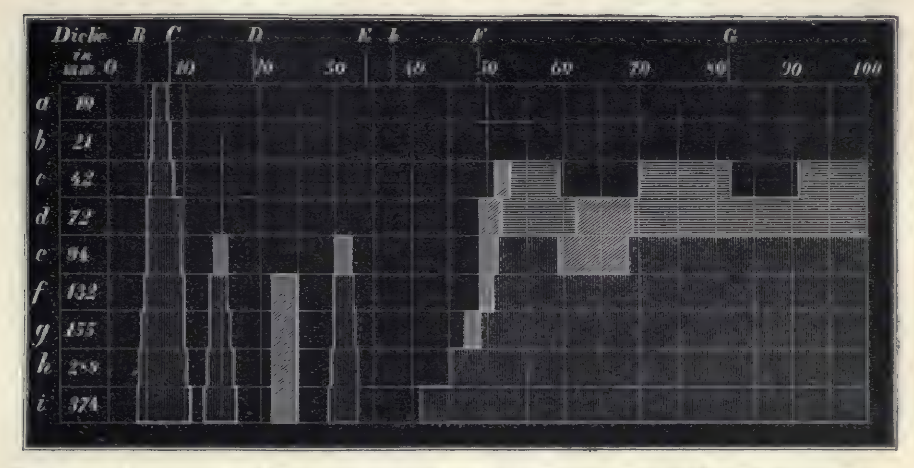


Fig. 436. Absorptionsspectrum des Alkoholchlorophylls (nach Pringsheim) (vergl. die Figurenerklärung von 433). Der Streifen *I* tritt schon bei geringster Dicke der Lösung auf, und zwar ganz allein, bis zur Dicke von 42 mm, wo zuerst die Streifen *V VI VII* im Grau, Blau und Violett erscheinen. Mit steigender Dicke fließen diese in ein einziges Absorptionsband zusammen, die vier ersten Streifen bleiben gesondert.

hinter *D*, einer vor *E*, einer hinter *F*, einer vor *G* und einer vor *H*. Bei größerer Dicke der absorbirenden Schicht oder bei größerer Concentration werden alle Strahlen des stärker brechbaren Theiles absorbirt, bis zur Strahlengruppe, welche zwischen *E* und *F* belegen ist, Fig. 441[1]). In ganz concentrirten Lösungen und sehr dicken Schichten endlich werden alle Strahlen vom violetten Ende bis zur Fraunhofer'schen Linie *B* absorbirt. Die Lösung erscheint bei durchfallendem Lichte tiefroth.

Die Lösung des Chlorophylles in Benzol weicht außerordentlich wenig von der alkoholischen ab. In den von Pringsheim zusammengestellten Absorptionsspectren für die Alkohol- und Benzollösung des Chlorophylles, Fig. 436, 437, wurde eine Concentration gewählt (von Pringsheim als eine mittlere bezeichnet), in welcher die charakteristischen Absorptionsstreifen *I* bis *IV* eben noch sichtbar sind, während für *V VI VII* die Endabsorption herrscht, d. h. alles Licht zwischen den einzelnen Absorptionsbändern ver-

[1]) Die Lage der Absorptionsbänder ist nicht eine absolut constante; sie ist in geringen Grenzen veränderlich, je nach dem angewandten Lösungsmittel. In der Erklärung dieses Phänomens sind sich die mit dem Gegenstand betrauten Forscher nicht einig. Kundt führt die Lagenänderung auf die verschiedene Dispersion des Lösungsmittels zurück. Pringsheim stellt sich vor, daß das Lösungsmittel selbst das Pigment mehr oder weniger in seinen optischen Eigenschaften zu verändern vermöge. Kraus sucht die Verschiebung auf das specifische Gewicht des Lösungsmittels zurückzuführen.

ſchluckt iſt. Dieſe letzteren Streifen erſcheinen daher als ein einziges Abſorptionsband *i*, Fig. 437. In *i* beſitzt die Schicht bei der Beleuchtung mit einer irdiſchen Lichtquelle (Lampe) eine Dicke von 370, beziehungsweiſe

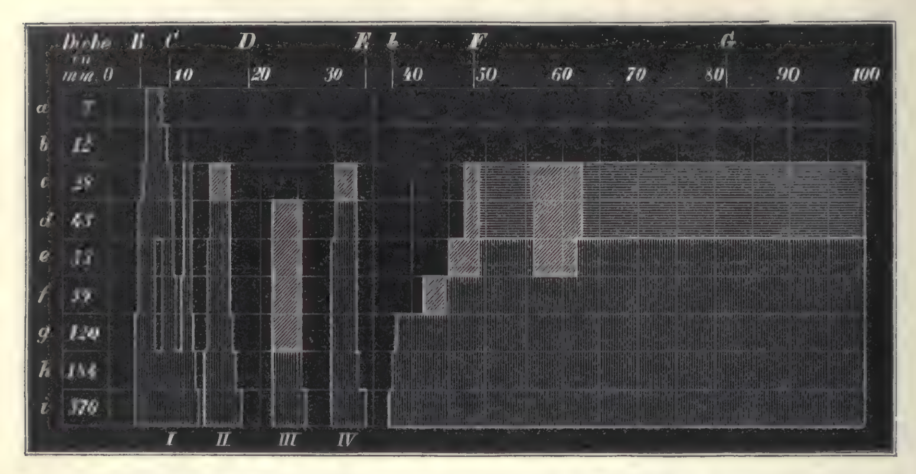


Fig. 437. Abſorptionsſpectrum des Benzolchlorophylls. Unterſcheidet ſich im Weſentlichen von dem Alkoholchlorophyll durch das frühere Auftreten der Streifen *II* und *IV* (vergl. die Figurenerklärung der früheren Figuren).

372 mm. Verringert man nun in dem Maß, wie dieß in den Figuren 436, 437 angegeben iſt, die Schichtendicke, ſo treten die in der Abſciſſenrichtung *d, e, f* u. ſ. f. verzeichneten Abſorptionsphänomene ein. Man erkennt, daß das Benzolchlorophyll ſich in dieſer Hinſicht von dem Alkoholchlorophyll um ein weniges unterſcheidet. Mit Hilfe dieſer Methode weiſt Pringsheim nach, daß auch den gelben und rothen Pigmenten die dem Chlorophyll eigenen Abſorptionsbänder zukommen, wennſchon mit geringerer Extinction, (ſiehe weiter unten).

Die Löſung des gelben Farbſtoffes etiolirter Pflanzen, das Alkohol-Etiolin, beſitzt nahezu die gleichen Abſorptionsſtreifen. Die Fig. 433 ſtellt das Abſorptionsſpectrum dieſes Pigments aus den Keimlingen von Cannabis dar (Pringsheim [1]). Die für das Chlorophyll charakteriſtiſchen Abſorptionsbänder *I II III IV* ſind ſchwächer, die Abſorption unvollſtändiger. Pringsheim ſieht das Etiolin als eine Chlorophyllmodification an. Das Etiolin beſitzt dieſelbe monochromatiſche Fluoreſcenz wie das Chlorophyll.

Die Auffaſſung des Etiolin als einer gelben im Finſtern entſtehenden Chlorophyllmodification, welche allgemeinere Betrachtungen über den vegetabiliſchen Stoffwechſel nahelegen, entſpricht endlich auch dem unleugbar mächtigen Einfluß, welchen das Licht ſichtlich auf das Ergrünen der

[1]) N. Pringsheim, Unterſuchungen über das Chlorophyll. Aus dem Monatsbericht der Königl. Acad. d. Wiſſenſch. Oct. 1874. Dec. 1875.

Phanerogamen ausübt. Es ſteht aber dieſer Einfluß nicht in unmittelbarer Beziehung zur Entſtehung des Chlorophylles, ſondern hängt mit Aenderungen zuſammen, welche der Athmungsvorgang der Phanerogamen im Lichte erleidet und die erſt in ſecundärer Folge zur Bildung des Chlorophylles hinführen. Der Satz von dem Einfluß des Lichtes auf das Ergrünen iſt ſomit dahin zu modificiren, daß zwar die Entſtehung des Chlorophylles überhaupt vom Lichte unabhängig iſt, daß aber im Finſtern eine gelbe, im Lichte eine grüne Modification des Chlorophylles ſich bildet.

Das Gelb der Herbſtblätter (Xanthophyll) enthält die dem Chlorophyll zukommenden charakteriſtiſchen Abſorptionsſtreifen im minderbrechbaren Theil weniger deutlich wie das Etiolin. Indeß iſt das Band *I* nachweisbar. Das Xanthophyll wird von PRINGSHEIM als eine entferntere Chlorophyllmodification angeſehen.

FRÉMY entmiſchte die Chlorophylllöſung mit Salzſäure und trennte zwei Farbekörper, einen gelben und einen blauen oder blaugrünen. Dieſe Trennung tritt auch ein, wenn in einer Chlorophylllöſung auf Löſchpapier oder in einer Porzellanſchale das Löſungsmittel verdampft. PRINGSHEIM (a. a. O. S. 1) macht auch darauf aufmerkſam, daß die FRÉMY'ſchen Farbekörper (Xanthophyll und Kyanophyll) vielleicht Zerſetzungsproducte des Chlorophylles ſind, oder unreine Modificationen, Gemiſche mehrerer Chlorophyllmodificationen.

Dem gelben Beſtandtheile fehlen, ſoweit bei PRINGSHEIM die Beobachtungen reichen, die charakteriſtiſchen Streifen in Roth und Gelb. Er entmiſcht das Chlorophyll in verdünnt alkoholiſcher Löſung mit Benzol in der Weiſe, daß das Gemiſch ſich möglichſt vollſtändig ohne gegenſeitige Trübung ſcheidet (S. 21 a. a. O.). Der gelbe Antheil, in Alkohol gelöſt, enthält nach der angegebenen Methode mindeſtens das Band *I*, je nach der Concentration aber können alle 7 Abſorptionsbänder des Chlorophylles in der Löſung beobachtet werden.

Der grüne oder blaugrüne Antheil, in Benzol gelöſt, zeigt eine Verſchiebung der Abſorptionsbänder im Blau zu denſelben in der urſprünglich angewandten Löſung. PRINGSHEIM iſt nicht der Anſicht, daß dieſe Eigenſchaft allein zur Annahme eines blauen Pigmentes in dem Chlorophyll berechtige.

Nach demſelben Forſcher[1]) iſt der gelbe Farbſtoff der Blüthen, der Fruchtſchalen, Aepfel, Amygdaleen u. a. m., als ein Derivat des Chlorophyllpigmentes anzuſehen. Das Pigment kommt an Plasmakörper gebunden, aber auch bei Linaria im Zellſaft vor oder als eine ölartige gleichmäßig

[1]) PRINGSHEIM a. a. O. S. 16.

gefärbte Flüſſigkeit in den Zellen der Blumenkrone von Verbascum. Pringsheim will für dieſen Farbkörper den Namen Anthoxanthin beibehalten wiſſen. Er zeigt durch die Spectralanalyſe, Fig. 439, daß die möglichſt

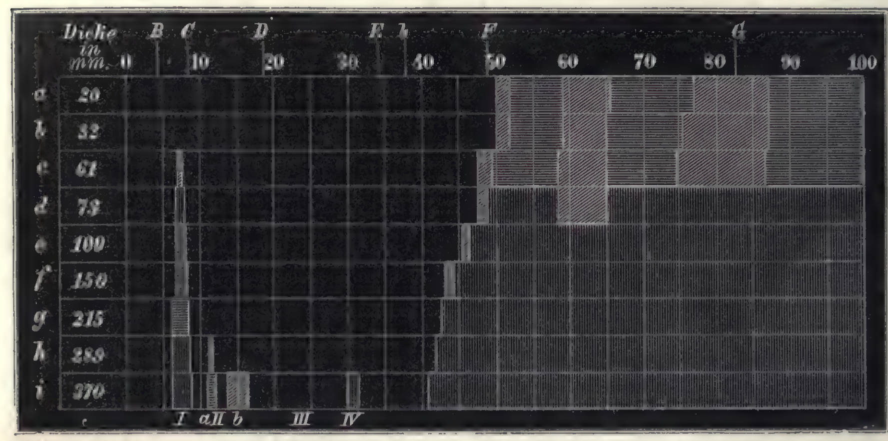


Fig. 438. Abſorptionsſpectrum des Alkoholetiolins (nach Pringsheim). In einer Loſung mittlerer Concentration wird bei 22—32 mm Dicke, man ſehe *a b*, nur der brechbarere Theil des Spectrums abſorbirt bis in die Nähe der Fraunhofer'ſchen Linie *F*, mit der Schichtendicke von 61 mm tritt der erſte Streifen in *B C* auf. Aber erſt bei den dickſten Schichten treten die Streifen *II III IV* auf.

ſorgfältig vor etwaiger Verunreinigung mit Chlorophyll geſchützte Löſung die weſentlichen Abſorptionsſtreifen des Chlorophylles beſitzt. In der verdünnten Löſung oder in einer dünneren Schicht derſelben, *a* Fig. 439, treten zuerſt die Abſorptionsſtreifen *V VI VII* im Blau auf. Die Endabſorption zeigt aber auch, wennſchon mit geringerer Extinction, die Streifen *I II III IV*, ſ. in *h*.

Das Sonnenlicht beſitzt für die blauen und violetten Strahlen des Spectrums eine weitaus größere Intenſität wie das Lampenlicht (Gas-, Oel- und Petroleumlampe). Man ſagt gewöhnlich, das Lampenlicht enthält weniger Blau und Violett. Es bedeutet dieß ſoviel ungefähr: aus dem Lampenlicht gehen die genannten Spectralfarben mit geringerer Amplitude hervor als ſie vom Sonnenkörper ausſtrahlen. Die Extinctionsgrößen, welche man dementſprechend für einzelne Theile des Spectrums für Lampenlicht beſtimmt, ſagen ſomit nichts aus über die Extinction der gleichfarbigen Sonnenſtrahlen. In der That hat Herr Profeſſor Dr. Wolkoff[1]) gezeigt, daß die Extinction der Chlorophylllöſung für Lampenlicht im Blau in *G*, Fig. 440, ihr Maximum erreicht. Die Methode, welche der genannte Forſcher anwendet, findet ſich beſchrieben in Vierordt, Die Anwendung des Spectralapparates u. ſ. f., Tübingen 1871.

[1]) Wolkoff, Die Lichtabſorption in den Chlorophylllöſungen. Heidelberg. Naturhiſt.-medicin. Verein. Neue Folge. I. Bd. S. 204. 1876.

16. Fluorescenz des Chlorophylls[1]).

Die Sonnenstrahlen werden von vielen Pflanzenpigmenten und Alkaloiden sowie Glucosiden in der Weise absorbirt, daß die lebendige Kraft der absorbirten Strahlen zum Theil oder ganz in Eigenlicht des be-

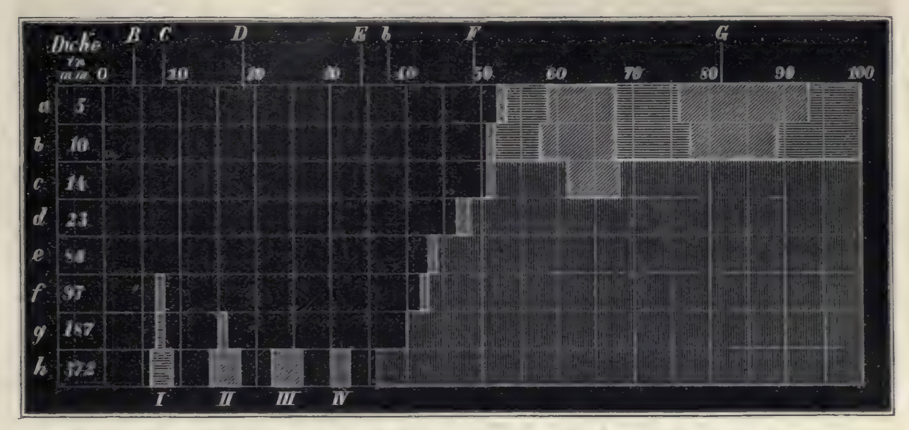


Fig. 439. Absorptionsspectrum des Alkohol-Anthoxanthin. Bis zur Schichtendicke der Lösung von mittlerer Concentration von 10 mm treten zuerst die drei letzten Absorptionsstreifen des Chlorophylls auf. Mit der Schichtendicke von 97 mm kommt zuerst *I*, erst bei 187 kommt *II*, und gegen 400 mm Schichtendicke kommen *III* und *IV*.

treffenden Körpers umgewandelt wird. Die Strahlengattung, welche unter diesen Umständen ausgestrahlt wird, mag das Fluorescenzlicht heißen gegenüber den Fluorescenzerregern, d. h. den Lichtstrahlen, welche in den fluorescirenden Körper einstrahlten. Das Chlorophyll besitzt die Eigenschaft zu fluoresciren, sowohl im lebenden Laubblatte, wie in der Alkohol-, Aether- u. s. f. Lösung. Die durchschlagende experimentelle Methode für den Nachweis der Fluorescenz in Chlorophyll ist die Herstellung des derivirten Spectrums[2]). Man entwirft an dem Ort $a\ b\ \gamma\ \delta$, Fig. 441, auf ein Blatt oder ein planparellepipedisches Gefäß, welches mit Chlorophylllösung gefüllt ist, ein möglichst lichtstarkes objectives Spectrum und betrachtet dieses mit einem Spectroskop, dessen brechende Kante horizontal gestellt ist. Es werden alsdann alle nicht in Fluorescenzlicht umgewandelten Strahlen des Sonnenspectrums entsprechend ihrer Brechbarkeit so abgelenkt erscheinen, wie es der schief gestellte Spectralstreifen, Fig. 441, darstellt. An dem

[1]) Stokes, s. Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik. II. S. 255. Poggendorff's Ann. Bd. XCVI. S. 523. Lommel, Ueber Fluorescenz. Separatabdruck.

[2]) Man zeigt auch in Vorlesungsversuchen einen convergenten Lichtkegel, welchen man mit Hilfe einer Sammellinse in eine concentrirte Chlorophylllösung wirft; der rothe Schein aber enthält hier sowohl das Fluorescenzlicht der Strahlengruppe *BC*, wie auch das nicht absorbirte Roth von geringster Brechbarkeit.



Fig. 440. Die Abſciſſenaxe iſt eingetheilt in die Intervalle, welche den Fraunhofer'ſchen Linien im Sonnenſpectrum zukommen. Die Ordinaten entſprechen der Lichtſtärke im Spectrum einer normalen Chlorophylllöſung, welche bei 1 cm dicker Schicht im Bande *I* 50 % des Lichtes abſorbirt. Die Lichtſtärke des angewandten Lichtes iſt gleich tauſend geſetzt. Die Schnittpunkte der Curve mit den Horizontallinien ergeben in den am rechten Rand verzeichneten Zahlen die Abſorption in den reſp. Regionen des Spectrums.

Orte aber, wo das erſte Spectrum auffiel, erſcheint ein ſcharfer rother Streifen von Fluoreſcenzlicht von einer und derſelben Brechbarkeit in allen Theilen. Der Verſuch zeigt ſomit, daß das Fluoreſcenzlicht aus einer

einzigen Strahlengattung besteht, und daß alle Strahlen des Sonnenspectrums mit Ausnahme der mindest brechbaren vom Ende des Spectrums bis zur FRAUNHOFER'schen Linie *B* in dieses Fluorescenzlicht verwandelt werden.

Der rothe Streifen, Fig. 441, aber leuchtet nicht mit der gleichen Intensität über seine ganze Fläche, sondern zeigt an dem Orte jedes Absorptionsstreifens ein Maximum der Lichtstärke.

Der sichtbare Theil des Sonnenspectrums umfaßt von dem äußersten Roth bis zum äußersten Violett nicht vollständig eine Octave. LOMMEL erwähnt in seinen Publicationen einen Versuch, welcher durchschlagend zeigt, wie die optischen Phänomene nach der Theorie der Wellenbewegung erklärt werden. Wie in der Akustik bekannt, klingen in einem Instrument die Töne mit, welche die Octaven des Grundtones darstellen, der in das System von schwingenden Saiten einstrahlte. Bezogen auf den Grundton des Chlorophylles, welcher bei *B C* liegt, liegt die nächst höhere Octave jenseits, aber nicht sehr weit von der sichtbaren Grenze des Sonnenspectrums im Ultraviolett. Bei der Bestrahlung der Chlorophylllösung mit dem Lithionlicht, welches ungefähr dem Grundton des Fluorescenzlichtes entspricht, konnte LOMMEL zeigen, daß in erster Linie jene Strahlen als Fluorescenzlicht mitklingen, welche der Octave entsprechen.

Die Fluorescenz des Chlorophylles wird im lebenden Blatte stärker in der Kälte, und immer dann, wenn das Blatt nicht assimilirt.

Die Frage, warum erscheinen grüne Pflanzen nicht in ihrem Fluorescenzlicht, liegt nahe, wenn man beachtet, daß bei einer concentrirten Lösung zuletzt nur rothe Strahlen austreten können. In der Natur ist aber die Menge des Fluorescenzlichtes oder dessen Intensität sehr klein gegenüber der Lichtstärke in der Zustrahlung.

Es wird in der That bei einigen Lebermoosen ein dießbezügliches Experiment von HOFMEISTER angegeben. So soll ein Lophocolearasen auf schwarzem Grunde unter Wasser braunroth erscheinen. Es werden hier die lichtschwächeren Strahlen des Grün absorbirt und die wenigen für unser Auge lichtstärkeren von der Umgebung gedämpft.

17. Kohlensäurezerlegung.

PRIESTLEY fand zuerst, daß grüne Pflanzenblätter, welche in Kohlensäurewasser getaucht und beleuchtet werden, Sauerstoff ausscheiden. Bei vielen Wasserpflanzen beobachtet man zur Zeit der Bestrahlung aus den Wunden, welche luftführende Intercellularen bloßlegen, und aus den Spaltöffnungen feine Bläschen, welche in kürzeren oder längeren Intervallen aufsteigen. Das Gas ist sauerstoffreich, wenn das umgebende Wasser nicht

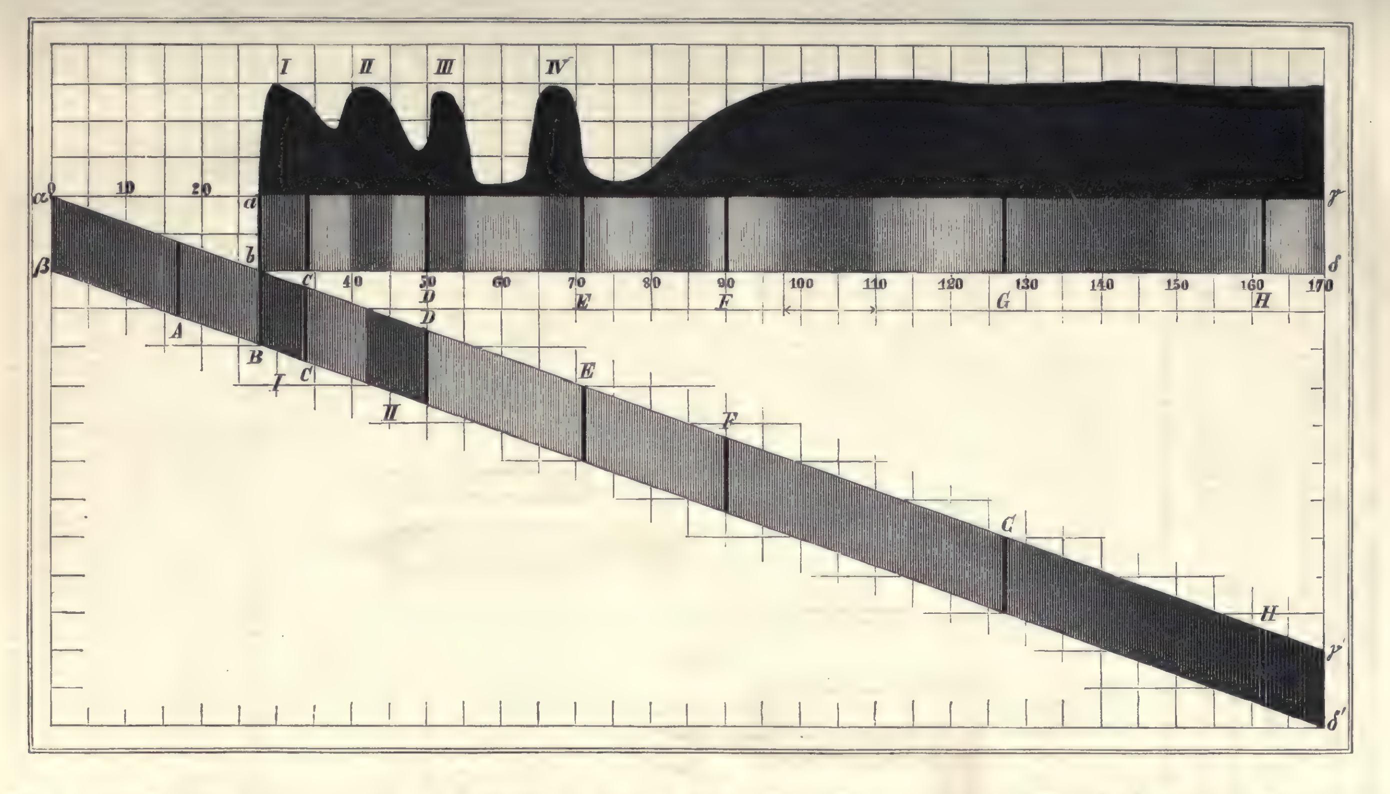


Fig. 441. Diese Figur stellt das derivirte Spectrum nach der Methode dar, welche von Stokes zuerst vorgeschlagen wurde. Auf die Fläche $\alpha\,\beta\,\gamma\,\delta$, welche einer planen Glaswand entspricht, hinter welcher die Chlorophylllösung befindlich ist, wird ein lichtstarkes objectives Sonnenspectrum im dunkeln Raum entworfen. Dieser Spectralstreifen wird mit einem horizontalstehenden Prisma betrachtet; das auffallende Spectrum erscheint alsdann, entsprechend der verschiedenen Brechbarkeit der Strahlen, nach $\alpha\,\beta\,\gamma'\,\delta'$ verschoben. In dem Orte aber, in welchem es in die Chlorophylllösung fällt, erscheint ein rother Streif $\alpha\,\beta\,\gamma\,\delta$, in welchem, entsprechend den Absorptionsstreifen, die Intensität stärker ist in *I II* u. s. f.

zu viel Kohlenfäure enthielt. Es befteht faft nur aus Kohlenfäure, wenn das umgebende Waffer reich an diefem Gafe ift.

a) Directer Nachweis für die Abforption des Lichtes bei der Affimilation.

Kann die Lichtmenge, welche verbraucht wird, um den chemifchen Proceß der Kohlenfäurereduction zu unterhalten, auf photographifchem Wege gemeffen werden? Ich verfuhr, um diefe Frage zu löfen, in der folgenden Weife. Zwei möglichft gleiche Laubblätter eines Zweiges der Caftanea vesca werden auf Chlorfilberpapier gelegt und in einen photographifchen Copirrahmen eingefpannt, derart, daß die Oberfeite der Blätter der Silberalbuminfchicht zugekehrt, aber durch eine dünne Glasplatte von ihr getrennt ift. Die Blattftiele beider Blätter ftehen durch Kautfchukfchläuche und Glasröhren mit zwei Gafometern in Verbindung. Der eine enthält ein Gemifch von 10 % Kohlenfäure und 90 % atmofphärifcher Luft, der andere enthält Wafferftoffgas. Nachdem der Gasftrom etwa einen halben Tag durch den Blattftiel unterhalten war, darf man annehmen, daß alle vorher in den Binnenlufträumen der Blätter enthaltenen Gafe verdrängt find. Das mit dem Kohlenfäureluftgemifch verfehene Blatt wird beleuchtet affimiliren, das mit Wafferftoff gefüllte dagegen ift nicht in der Lage, einen chemifchen Proceß auszuführen.

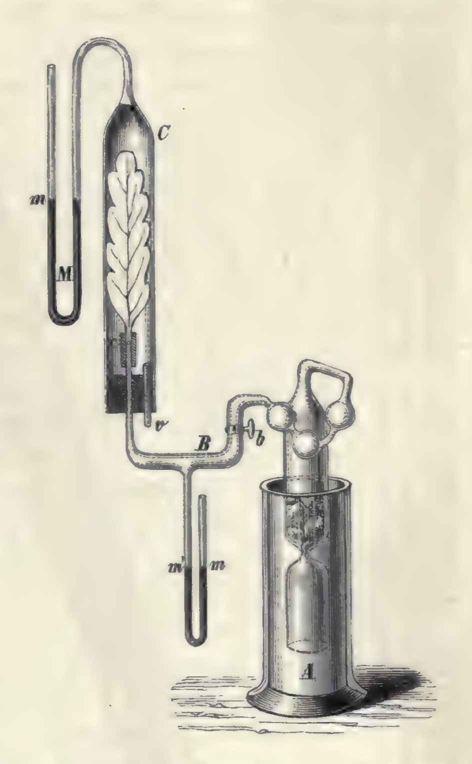


Fig. 442. *A* bis *b* ein Bunsen'fcher Kohlenfäureapparat. In dem Abzugsrohr bei *B* am Manometer *C* ein Glasrecipient mit einem Manometer *M*. Die entweichende Kohlenfäure tritt bei *c* in den Blattftiel eines Laubblattes.

Das erftere wird beleuchtet mehr Licht abforbiren wie das letztere. Das Experiment wurde nach zahlreichen mißlungenen Verfuchen fo ausgeführt, daß die Gasftröme während drei bis vier Stunden unterhalten wurden. Zur gleichen Zeit wurden die Blätter mit diffufem, fehr fchwachem Tageslicht beleuchtet, fo daß der Proceß der Silberreduction in der Unterlage von Chlorfilberpapier möglichft langfam vor fich ging. Der Verfuch gelang auf das vollftändigfte. Die Lichtpaufe des mit Wafferftoffgas gefüllten Blattes

war auffälligſt dunkler wie diejenige des mit Kohlenſäure und atmoſphäriſcher Luft gefüllten Blattes.

b) Diffuſion der Gaſe im Sonnenlicht und Sonnenſpectrum[1]).

Der Baum taucht mit ſeiner Krone in einen ungeheuren Ocean, aus welchem er die in großen Abſtänden vertheilten Gastheilchen abſorbirt. Das Blatt iſt der Apparat, welcher dieß in vortheilhafteſter Weiſe ermöglicht durch die große Fläche bei geringer Maſſe und durch die große innere Oberfläche luftführender Räume. Bei der Beſtrahlung des Blattes machen ſich, wie leicht vorauszuſehen, zwei Phänomene geltend: die Gaſe in den Binnenlufträumen werden erwärmt und erhalten eine Beſchleunigung der Diffuſionsgeſchwindigkeit und eine Erhöhung des Druckes. Die Aſſimilation der Kohlenſäure bewirkt eine ſtete Störung des osmotiſchen Gleichgewichtes. Den verſchiedenen Strahlen des Sonnenlichtes wird hiebei eine verſchiedene mechaniſche Rolle zukommen. Dieß zu unterſuchen war der nächſte Vorwurf der nachfolgenden Unterſuchungen. Ich ſuchte zu beſtimmen, wie raſch ſich zwei verſchiedene Gasſtröme ausgleichen, und wählte einen Kohlenſäureſtrom, welcher am Blattſtiel eintritt, während die Blattfläche mit der Atmoſphäre in Berührung bleibt.

Der zu den Verſuchen angewandte Apparat, Fig. 442, iſt zuſammengeſetzt aus einem BUNSEN'ſchen Kohlenſäureapparat *A*, welcher bei *b* durch einen Glashahn mit dem Rohre *B* in Verbindung gebracht werden kann. Dieſes mündet in den Blattſtiel. Der Raum *c B m' b* iſt mit Kohlenſäure gefüllt. Der Manometer möge auf dem 0-Punkt ſtehen. Verbraucht nun das Blatt einen Theil der Kohlenſäure in dem kleinen Raume *c B m' b*, ſo ſteigt die Säule in *m'*, diejenige in *m* ſinkt.

Beleuchtet man das Blatt mit verſchiedener Intenſität, ſo wird von dem Spiegel der Sperrflüſſigkeit eine beſtimmte Anzahl von Theilſtrichen an *m'* in verſchiedener Zeit zurückgelegt. Dieſe Zeiten wurden beſtimmt. Läßt man zunächſt den Recipienten, welcher das Blatt umgiebt, hinweg, ſo daß dieſes von der Atmoſphäre umgeben iſt, ſo kann man in wenigen Secunden den erſten Verſuch wiederholen, indem man von Neuem den Hahn *b* öffnet, bis die Spiegel *m' m* auf dem 0-Punkt ſtehen.

Ein Blatt von Aesculus hippocaſtanum wird mit dieſem Apparat in Verbindung gebracht und mit Hilfe einer Sammellinſe und eines Helioſtaten im dunkelen Zimmer beleuchtet.

---

[1]) Die Literatur über dieſen Gegenſtand: SACHS, Handbuch der Experimentalphyſiologie der Pflanzen. S. 143 ff. N. J. C. MÜLLER, in PRINGSH. Jahrb. für wiſſenſchaftliche Botanik. Bd. VI. S. 478. Bd. VII. S. 145. Bd. IX. S. 36 und Botan. Unterſuchungen, Carl Winter's Univerſitätsbuchhandlung. Heidelberg 1872. Unterſuchungen über Sauerſtoffausſcheidung u. ſ. f.

Temperatur 24° C.

Geschw.	Zeit: Secunden.	Theilstriche.	Licht-intensität.
0,0039	255	+ 4	0
38	260	»	0,000885
40	225	»	0,001
0,0130	75	»	0,0025
0,0130	75	»	0,00357
0,0083	120	— 4	0,02
0,0020	480	— 4	0,04
$\frac{1}{\infty}$	∞	± 0	0,333

Sobald die Lichtintensität ¹/₃ der Sonnenintensität erreicht, machen sich zwei Vorgänge im Binnenraum geltend, die Spannung der Gase, welche mit dauernder Bestrahlung zunimmt, und die Diffusion; es kommt somit dahin, wie man aus der achten Ablesung ersieht, daß der Spiegel stationär wird.

Wir sehen aus der Reihe der Diffusionsgeschwindigkeiten, daß von absoluter Dunkelheit ab bis zu der Intensität 0,00357 des einfachen Sonnenlichtes die Geschwindigkeit des Stromes wächst, von da ab aber sinkt dieselbe. Jetzt wirkt die Spannung der Gase in den Binnenlufträumen verlangsamend, und der Strom steht längere Zeit ganz still bei ¹/₃ der Intensität des Sonnenlichtes.

Denselben Apparat kann man auf verschiedene Theile des Sonnenspectrums einstellen, und für jede Stellung dort kann die Zeit bestimmt werden, welche für den Absorptionsstrom gebraucht wird. Ein objectives Spectrum wird zu dem Behufe mittelst zweier Steinsalzprismen entworfen:

Schwankung 5 mm. Temperatur 25° C.

Geschw.		
0,025	Roth ¹/₃ des Absorptionsstreifens und Orange . .	40 Sec.
0,020	¹/₂ Orange, ¹/₂ Gelb	50 »
0,020	Grün	50 »
0,018	Blau	55 »
0,016	Blau, Violett	60 »
	Roth	35 »

c) Gasanalytische Methoden.

Nehmen wir als Lichtfläche der Pflanze in unserem Experiment ein ausgewachsenes Blatt, so können wir in einem begrenzten Reservoir, welches ein Kohlensäure- und Luftgemisch enthält (ein Absorptionsrohr, welches mit

aller Sorgfalt calibrirt sein möge, man sehe die gasometrischen Apparate weiter unten), doch nur für die Zeitintervalle t . t' t_2 u. s. f. bestimmen die Procentsätze c c' c'' u. s. f. an Kohlenstoff in der Pflanze, an Kohlensäure und Sauerstoff in dem Reservoir.

Denken wir uns nun viele, aber unter sich ganz gleiche derartige Meßapparate über die Krone eines Baumes so vertheilt, daß der äußere sowie der äußerste Kronenkegel mehr, der innere weniger, weil er mehr im Schatten, der dritte noch weniger Licht erhält u. s. f., so würden wir für die gleich großen, aber verschieden beleuchteten Blattlichtflächen in unseren Apparaten

$$l \; l' \; l'' \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; l^m$$
$$c \; c' \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; c^m$$

Procentsätze in dem Gasgemisch gewonnenen oder verlorenen Kohlenstoff erhalten. Nennen wir den für die Blattfläche gewonnenen und reducirten Kohlenstoff positiv, den verlorenen, welcher als Kohlensäurezuwachs im Reservoir auftritt, negativ, so erhalten wir:

$$c > c' > c'' \dots \text{ bis } c^m > 0 < -c^{m+1} < -c^{m+2} \dots .$$

bis zu einem größten Werth in absoluter Dunkelheit oder eine Reihe von Kohlensäurezuwachsen in den Recipienten, welche von dem hellsten nach dem dunkelsten zunehmen, so aber, daß in einem bestimmten Recipienten unserer Reihe weder Zuwachs noch Abnahme erfolgte. Offenbar muß es in einem allmälig anwachsenden Schatten, d. h. in einer Reihe von allmälig abnehmenden Lichtintensitäten eine solche geben, wo der gewonnene und der verlorene Kohlenstoff in derselben Zeit sich aufheben. Nichtsdestoweniger muß dort noch Licht gemessen werden können. Es kommt somit ein Zustand, wo der Apparat, Fig. 442, den Dienst vollständig versagt.

Dieß beruht, wie schon gesagt, darin, daß derselbe eine Maschine ist, in welcher zwei umkehrbare Processe möglich sind. In allen physikalischen Apparaten verläuft der Proceß, durch welchen wir Licht messen, in einem und demselben Sinne. Denken wir uns nun in unsere Umtriebszeiten zurück und führen Wägungen an einem Getreideacker aus, dessen Einzelpflanzen mit dem Anfangsgewicht p stetig an Volum zunehmen. Wir bestimmen durch die Elementaranalyse durch den ganzen Umtrieb das Gewicht an verbrennlicher Substanz und damit die gewonnene Wärme, so werden wir für die hinter einander belegenen Zeitpunkte wie oben erhalten, von dem Anfangsgewicht ausgehend:

$$p > p' > p'' > p''' \dots p^n = p^{n+1} = p^{n+2} \dots p^{n+m} < p^{n+m+1} < p^{n+m+2}$$

u. s. f., d. h. von dem Momente der Aussaat eilt das Gewicht der Saatpflanze einem kleinsten Werth entgegen, um erst später zu wachsen und

nur unter günſtigen Bedingungen ſo groß zu werden, daß eine Ernte das von der Oekonomie gewünſchte Reſultat ergiebt.

In der Ernte meſſen wir die Geſammtleiſtung des Lichtes durch das Endgewicht, die Schwankungen in dem Gewicht an verbrennlicher Subſtanz während der Umtriebszeit ſind uns entgangen[1]).

Da nun jedes Molecul verbrennlichen Kohlenſtoffes, welches überhaupt einmal in die Pflanze eingekehrt iſt, einem gewiſſen Maß lebendiger Kraft des Lichtes entſpricht, und da wir die Anzahl der Aus- und Einkehren nicht kennen, ſo meſſen wir in der Ernte in der That nicht den abſolut größten Werth der während des Umtriebes aufgenommenen Bewegungsgröße des Lichtes; es entgeht uns die Kohlenſtoff- und ſomit die Wärmemenge, welche zu dem experimentell beſtimmbaren Arbeitsvorrath hinzu addirt werden muß, um L zu erhalten (ſ. S. 479 in der Note).

Wir haben im Vorſtehenden die Grenze angedeutet, bis zu welcher die Forſchung über die Reduction und die Verbrennung des Kohlenſtoffes im grünen Pflanzenblatt vordringen kann. Es geht aus jener Discuſſion hervor, daß die Schwierigkeit, den Stoffwechſel in Bezug auf den Kohlenſtoff von der Pflanze nach der Atmoſphäre und umgekehrt zu unterſuchen,

[1]) Dieſer Verluſt läßt ſich leicht berechnen; wir denken uns aber, um den Nachweis, daß das nackte Erdreich nicht mit einjährigen, ſondern nur mit vieljährigen Lichtſammlern Kohlenſtoff kapitaliſiren konnte, beſſer zu unterſtützen, die Ernte ganz ausgeſchloſſen, und es möge die Wirthſchaft von einem kleinen Areal beginnen und ſich ſelbſt überlaſſen bleiben. Nach m Jahren iſt dann der Stoffwechſel ausgedrückt durch die folgenden Wärmemengen:

1. Theil: $$Q' = a\frac{I}{K} + na\frac{I}{K} + n^2a\frac{I}{K} \dots n^{m-1}a\frac{I}{K}.$$

Hierin bedeuten a die einmalige äußere Arbeit einer Pflanze, n die Anzahl der Erntekörner, welche in jedem Umtrieb dann als gleich angenommen werden kann, wenn der n-fachen Vergrößerung der Ausſaatobjecte auch eine n-fache Vergrößerung des Lichtareals entſpricht; k das mechaniſche Aequivalent der Wärme.

2. Theil: $$Q'' = pc\frac{I}{K} + npc\frac{I}{K}\, n^2pc + \frac{I}{K} + \dots n^{m-1}a\frac{I}{K};$$

3. Theil: $$Q''' = (p + pn + pn^2 + \dots pn^{m-1})\, c\frac{I}{K}.$$

Hierin bedeutet p das Gewicht der Ausſaat, reſp. des Erntekorns, c die Wärmemenge bei Verbrennung desſelben. Die Summe Q'' ſtellt alsdann die Wärme dar, welche bei der Ausſaat und Keimung in den m Umtrieben gebildet, reſp. für den Stamm der Race verloren ging.

Die Summe Q''' ſtellt die letzte Körnerernte dar, p bedeutet das Gewicht des Kornes, c die bei der Verbrennung desſelben gebildete Wärme, k das mechaniſche Aequivalent der Wärme.

begründet ist darin, daß die analytischen Methoden zeitraubend sind, und darin, daß die Pflanze zwei Processe gleichzeitig ausführt. Ich suchte die Operationen dadurch zu erleichtern, daß ich den gasanalytischen Apparat für sechs Analysen einrichtete, welche gleichzeitig ausgeführt werden konnten.

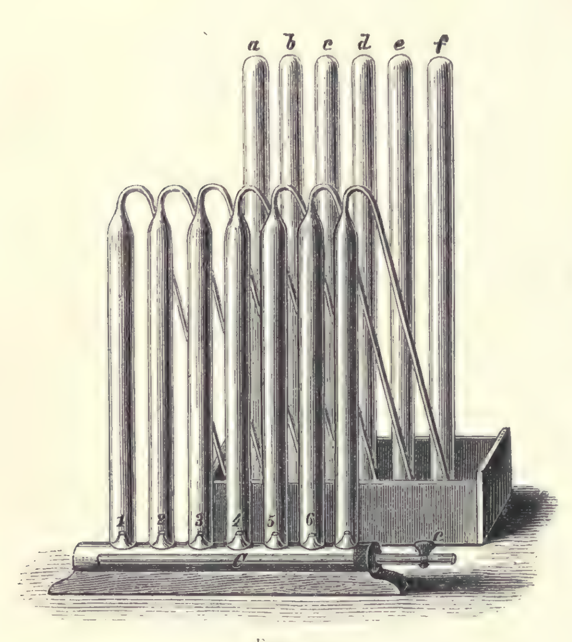


Fig. 443.

Der Apparat hatte die durch Fig. 443 veranschaulichte Einrichtung: Sechs gleiche Gasbehälter in Gestalt cylindrischer Glasröhren *1, 2, 3* u. s. f., Fig. 443, sitzen, durch Kautschukstopfer festgehalten, auf einer gemeinschaftlichen Gasleitungsröhre, welche sechs kleine Tubuli enthält. Durch den Hahn bei *c* kann das System abgeschlossen werden.

Nachdem die Röhren mit den Versuchspflanzen beschickt sind, werden sie gleichzeitig mit dem Gasgemisch gefüllt, indem die Zuleitungsröhre *C* mit einem großen Wassergasometer in Verbindung gebracht wird. Nachdem die Luft in den Behältern verdrängt ist, werden diese unter sich und von der gemeinschaftlichen Gasröhre getrennt dadurch, daß letztere mit Quecksilber bis zu den Kautschukstopfern gefüllt wird. Das andere Ende der Behälter, die Abzugsröhren, münden unter Quecksilber in derselben Wanne, welche die quecksilbergefüllten Absorptionsröhren *a, b, c, d* u. s. f. aufnimmt. Nach der Insolation wird die Röhre *C* mit einem Quecksilberreservoir in Verbindung gebracht und die Gase in den Recipienten durch Zufluß von Quecksilber nach den Absorptionsröhren *a, b, c, d* u. s. f. übergeleitet.

Die sechs Absorptionsröhren waren auf das Genaueste calibrirt.

Die Absorption der Kohlensäure geschah mit Hilfe der Kalikugel.

Die Calibration wurde auf das kleinste Rohr zurückgeführt.

Nachdem in jedes Rohr ein mit der ausgemessenen Schablone geschnittener Blattstreifen gegeben, erfolgen diese Operationen:

1⁰ Gasstrom aus einem Gasometer, bis alle Luft in den Röhren durch das Gasgemisch ersetzt ist (5 Minuten);

2⁰ Anfüllen der gemeinschaftlichen Röhre *C*, Fig. 443, mit Quecksilber, bis die einzelnen Behälter *1, 2, 3* . . . von einander und von der gemeinschaftlichen Gasröhre getrennt sind (5 Minuten);

3⁰ Exposition im Spectrum oder in der Sonne mit Hilfe des Heliostaten (bis zu 4 Stunden);

4⁰ Füllen der Absorptionsröhren *a, b, c* . . ., Fig. 443, mit Quecksilber;

5° Ueberfüllen der Gase nach den Absorptionsröhren durch einen Quecksilberstrom, welcher in die gemeinschaftliche Röhre *C* eingelassen wird (15 Minuten);

6° Ruhe und Ablesung der Volume (2 Stunden);

7° Einführen der Kalikugeln und Absorption der Kohlensäure (5 Stunden);

8° Herausnehmen der Kalikugeln und Ruhe (2 Stunden);

9° Ablesung der Volume u. s. f. (20 Minuten).

d) Die Verbrennungswärme der Erndteproducte bezogen auf die eingestrahlte Wärme.

Die Rechnung nach dem Versuche mit dem Apparat Fig. 443 ergiebt, wie viel Kohlensäure aus dem Gasgemisch verschwunden und wie viel hinzugekommen ist. Man kann aus dem Verlust der Kohlensäure in dem Gasgemisch der Recipienten *R I*, *R II*, . . . bis *R VI* die Kohlenstoffmenge berechnen, welche für eine gegebene Lichtintensität resp. Farbe und eine bestimmte Zeit reducirt wurde. Die Gewichte zweier Gase von gleichem Volumen, bei gleichem Druck und gleicher Temperatur verhalten sich wie die Atomgewichte der Gase. Wenn nun nachgewiesen ist, daß für jeden verschwundenen Volumtheil Kohlensäure ein gleiches Volum Sauerstoff in dem Recipienten auftritt, so erhält man, wie bekannt, das Gewicht des Sauerstoffes aus

$$Po = Vo \frac{8}{22} s,$$

worin Vo das Volum des Sauerstoffes (bei dem betreffenden Druck und der gegebenen Temperatur) bedeuten.

Das Gewicht des Kohlehydrates (Zucker), welches aus der reducirten CO_2 entsteht, wird erhalten aus $Pz = \frac{6}{22} Vc \frac{180}{72} s$, worin Vc das auf 0° C. und 1000 mm Quecksilberdruck reducirte Volum, s das specifische Gewicht der Kohlensäure, $\frac{6}{22}$ das Gewichtsverhältniß des Kohlenstoffes in der Kohlensäure, *180* das Atomgewicht des Zuckers, *72* das Gewicht des Kohlenstoffes im Atomgewicht des Zuckers bedeuten.

Die Assimilation des Kohlenstoffes in einer gegebenen Pflanze hängt ab:

1° von der Größe des Kohlensäuregehaltes in dem Gasgemisch;

2° von der Temperatur;

3° von der Intensität des Lichtes;

4° von dem Drucke.

In dem Nachfolgenden sind die allgemeinen Resultate solcher Versuche zusammengestellt:

e) Resultate.

1° da während der Umtriebszeit des von grünen Pflanzen besetzten Lichtareals sich stetig zwei Processe in dem Blatte abspielen, welche sich

ihrer mechaniſchen Bedeutung nach gegenſeitig aufheben, ſo iſt es nicht möglich, die abſolute Productionsgröße des Sonnenſtrahles an verbrennlicher Subſtanz in der Erndte zu meſſen;

2° da die phyſikaliſchen Meßapparate für die Wirkung des Sonnenſtrahles unter dieſer Wirkung nur einen mit der Intenſität gleichſinnig verſtärkten Proceß (Erwärmung einer Waſſer- oder Queckſilbermaſſe, ſo das directe Pyrheliometer von POUILLET und das Thermometer — chemiſche Zerſetzung von Chlor und Waſſerſtoff, ſo das BUNSEN'ſche Photometer oder Zerſetzung von Chlorſilber, das BUNSEN-ROSCOE'ſche Photometer — Erzeugung eines Thermoſtromes an der Thermoſäule) angeben, die grüne Pflanze aber in derſelben Zeit einen umkehrbaren chemiſchen Proceß ausführt, ſo kann ſie nicht als Photometer in Vergleich mit den phyſikaliſchen Apparaten gezogen werden. Die erſteren meſſen in gleichem Sinne große und verſchwindend kleine Licht- und Wärmemengen, die Pflanze nicht;

3° denkt man ſich eine gewogene Menge Kohlenſtoffes und atmoſphäriſcher Luft in zwei Maſchinen, welche von der Außenwelt vollſtändig getrennt, unter ſich aber ſo in Verbindung gebracht ſind, daß der Kohlenſtoff von der einen zur anderen gelangen kann, ſo in Betrieb, daß die eine Maſchine den Kohlenſtoff verbrennt und äußere Arbeit leiſtet, die andere umgekehrt die gewonnene Kohlenſäure durch Verbrauch des in den Maſchinencomplex einfallenden Lichtes reducirt, ſo wird die Production von äußerer Arbeit um ſo größer ſein, je öfter die Kohlenſtofftheilchen aus der einen in die andere Maſchine eilen. Die größte Production äußerer Arbeit wird erzielt werden, wenn ſie niemals zur Ruhe kommen. Das Maß der geleiſteten Arbeit wird kleiner werden, wenn ein Theil der Kohle, in verbrennlicher Form zurückgelegt, außer Umtrieb geſetzt wird;

4° die Pflanze gleicht einem Maſchinencomplex der geſchilderten Art. Das Thier gleicht dem einen Theil des Maſchinencomplexes. Die einjährige Pflanze gleicht in Bezug auf die Capitaliſation eher dem Thier, inſofern ſie die organiſche reducirte Maſſe ſo in Bewegung erhält, daß durch eine große Reihe von Umtrieben der Lichtfläche zwar ſtete Reduction, aber mit dem größtmöglichen Aufwand an Verbrennung herrſcht. Die perennirende Pflanze allein capitaliſirt verbrennliche Subſtanz am raſcheſten, weil ſie den geringſtmöglichen Aufwand an äußerer Arbeit macht;

5° die äußerſte Production an Wärme, als zurückgelegtes Kapital in einem 100jährigen Buchenwald, beträgt ſehr näherungsweiſe den 194ten Theil der von der Sonne eingeſtrahlten[1]);

---

[1]) Die genaueſte Zuſammenſtellung des Geſammterzeugniſſes eines Hectars, welcher mit 100jährigem Buchenhochwald beſtanden iſt, an Holz, Rinde, einſchließlich der Wurzeln und Blätter nach den Ermittelungen TH. HARTIG's (Vergleichende Unterſuchungen über den Ertrag der Rothbuche. Berlin 1847. Verlag von Alb. Förſtner):

6° wir sind gezwungen, anzunehmen, daß in unserem Maschinencomplex eine von außen eindringende Kraft absorbirt wird, das Licht;

7° die photographisch wirksamen Sonnenstrahlen werden in merklichem Maße durch das Blatt unserer Waldbäume hindurchgelassen, und es läßt sich die Photographie benutzen, um den Schattengrad der Laubblätter zu bestimmen;

8° der Grad der Extinction der Laubblätter wurde für die wichtigsten Strahlen im minder brechbaren Theil des Sonnenspectrums bestimmt. Denkt man sich den Rotationskörper der Baumkrone mit einer lückenlosen Blatthülle überspannt, so würde für das Auge des in dem Rotationskörper stehenden Beobachters unter der Voraussetzung, daß die Schale von außen mit dem intensivsten Sonnenlicht beleuchtet wird, der Eindruck des Grün schon mit der sechsten bis siebenten Blätterlage verschwinden, absolute Dunkelheit würde herrschen erst mit 10 und 11 Blattlagen Esche, Linde, Ulme; mit 13 Wallnuß, Blutbuche; mit 14 Eiche; mit 15 Roßkastanie, Aspe, Spitzahorn, Kastanie; mit 17 Hainbuche; mit 20 Buche. Fast bis zu dieser Grenze würde rothes Licht der geringsten Brechbarkeit vorherrschen und bei einer viel geringeren, aber immer noch bis 13 Blattlagen gehenden Grenze würde rothes Licht von der Brechbarkeit des Lithionlichtes (das Roth des ersten Absorptionsstreifens im Chlorophyll) zu dem Auge des Beobachters gelangen;

9° das Verhältniß der in das Laubblatt eingestrahlten zu der durchgegangenen Menge dunkler Wärme wurde bestimmt mit Hilfe des Thermomultiplicators. Bis zur Einschaltung des vierten Blattes in ein paralleles Wärmestrahlenbüschel sinkt die Intensität des Thermostromes, von da ab spielt der bestrahlte Blättercomplex die Rolle eines Wärmereservoirs. Die Intensität des dunkeln Strahlenbüschels gleich eins gesetzt, schwankt die durch die einfache Blattlage hindurchgegangene zwischen 0,4 Ulme und 0,514 Hainbuche;

10° aus einem parallelen Sonnenstrahlenbüschel, dessen Intensität gleich

---

Nach der Tabelle I. B. (S. 82—87, a. a. O.) ist das Gesammterzeugniß an oberirdischer Holzmasse in 100 Jahren:

auf 1 h = 1063 cbm.

Nach Tabelle I. F. (S. 98—99, a. a. O.) beträgt das Stock- und Wurzelholz ungefähr 20 % der oberirdischen Holzmasse,

auf 1 h 213 cbm

zusammen 1276 cbm.

Die Gesammtmenge des Laubes kann man ungefähr aus Tabelle I. C. (S. 88—93, a. a. O.) berechnen, sie beläuft sich für den Hectar auf 1,049166 kg.

Von diesem Ergebniß sagt Hartig (S. 33, a. a. O.), daß es «das Maximum der Production unter Zusammenwirken der günstigsten Verhältnisse, das sich selbst bei der sorgfältigsten Wirthschaft nie über größere Flächen verbreitet, darstellen wird».

eins gesetzt ist, löscht das Laubblatt der Mehrzahl unserer Waldbäume etwa 0,143 der eingestrahlten Wärme aus in einer Ebene, welche nur 2 mm hinter dem durchstrahlten Blatte liegt. Die Zerstreuung des Strahlenbüschels durch das Blatt ist aber so bedeutend, daß, wenn man den Schatten 4 cm hinter den durchstrahlten Blättern auf die Thermosäule fallen läßt, 0,66 der eingestrahlten Intensität absorbirt erscheinen. In einer Entfernung von 15—20 cm übt das von dem Blatte ausgehende Strahlenbüschel schon keine Wirkung mehr auf die Thermosäule;

11° bei der Bestrahlung des Laubblattes machen sich zwei Processe geltend: ein Diffusionsstrom der Gase durch Temperaturzuwachs in den Binnenlufträumen, und ein ebensolcher Strom dadurch erregt, daß Kohlensäure zersetzt und Sauerstoff ausgeschieden wird. Verbindet man den Blattstiel eines Laubblattes mit einem Kohlensäurerecipienten, während die Blattfläche von der Atmosphäre umspült wird, so entsteht auch ohne directe Bestrahlung ein Strom aus dem Recipienten nach dem Blatte, dessen Intensität von der Temperatur abhängig ist und an einem geeigneten Manometer abgelesen werden kann. Derselbe wird durch die Bestrahlung beschleunigt. Von Interesse für unseren Nachweis ist, daß von absoluter Dunkelheit ab mit wachsender Intensität der Bestrahlung die Geschwindigkeit des Stromes wächst bis zu 0,00357 der Intensität des parallelen Strahlenbüschels der Sonne. Von nun ab macht sich in dem Apparat eine Verzögerung des Stromes merklich durch Erwärmung und Ausdehnung der Gase in den Binnenluftkanälen des Blattes. Steigt die Bestrahlung auf 1/3 der Intensität in dem parallelen Sonnenstrahl, so hört der Strom lange Zeit hindurch ganz auf;

12° dieselben Versuche in dem Sonnenspectrum ausgeführt ergeben ein umgekehrtes Resultat: in dem Absorptionsstreifen tritt eine Beschleunigung des Kohlensäure verbrauchenden Stromes ein, links und rechts von demselben eine Verlangsamung. Die Strömungsgeschwindigkeit steigt von dem brechbaren nach dem minder brechbaren Theil des Spectrums. Jene Beschleunigung in dem Absorptionsstreifen kann nur eine Ursache haben: die Assimilation;

13° die Assimilation der jetzt lebenden Pflanzen ist abhängig außer Anderem von dem Drucke, unter welchem die Gase stehen. Steigt der Druck, so herrscht selbst bei intensiver Sonnenbestrahlung die Athmung über die Assimilation;

14° merkliche Kohlensäurezersetzung herrscht noch in der 4. Blattschicht, nachdem das parallele Strahlenbüschel drei Blattschichten durchdrungen hat (bei der Buche);

15° mäßiger Schatten, wie er erzeugt wird, wenn das parallele Strahlenbüschel zu dem zweiten Blatte gelangt, nachdem es das erste passirt hat,

zu dem dritten, nachdem es das erste und zweite Blatt durchdrungen, wirkt vortheilhafter wie die directe Bestrahlung;

16⁰ der Athmungsaufwand von 7 Blattschichten, von welchen nur die erste vom parallelen Sonnenlicht bestrahlt ist, während die übrigen im Schatten der ersten stehen, überwiegt nicht ganz die Reduction der einfachen Lage in derselben Bestrahlung;

17⁰ unter den günstigsten Umständen der Assimilation in dem Laubblatte der Buche wird etwa der 24. Theil der zugestrahlten Wärme in Form verbrennlicher Substanz capitalisirt[1]);

18⁰ die Blätter der Laubbäume und Culturpflanzen mit größerer Extinction für die Strahlengruppe *BC* (s. oben 6⁰, und oben S. 499) besitzen eine größere absolute Assimilation für dieselbe Gasmenge, dieselbe Lichtintensität und Dauer der Bestrahlung, wie solche mit kleinerer Extinction (S. 523 in der Note);

19⁰ die absolute Production auf gleicher Fläche und für gleiche Be-

[1]) Das Pyrheliometer (nach Pouillet), welches ich anwandte, hatte ein kreisförmiges Gefäß, dessen Radius 47,5 mm besaß. Das Gewicht des in dem Gefäß enthaltenen Wassers ist 116,46 g, das Gewicht des Gefäßes ist 100,36 g.

Die Constante $\frac{P}{5r^2\pi}$ ist für dieß Instrument gleich 0,256.

Versuch mit dem directen Pyrheliometer von Pouillet am 16. Juni 1875.

	Minute.	Temperatur C. des Gefäßes.	
Das Gefäß im Schatten des Schirmes	1 5	21,95⁰ 22,45⁰	$r = 0{,}5^0$ C.
Das Gefäß insolirt	1 5	22,45⁰ 24,95⁰	$R = 2{,}4^0$ C.
Das Gefäß bedeckt	1 5	24,95⁰ 24,25⁰	$r' = 0{,}70^0$ C.

Hieraus berechnet sich die zugestrahlte Wärme in der folgenden Weise. Die Temperatur des Gefäßes ist

$$t = R + \frac{r + r'}{2}.$$

Die Wärmemenge, welche 1 qcm des Gefäßes in der Minute erhielt, ist $w = \frac{P}{5r^2\pi}\,t$, worin r der Halbmesser des Gefäßes, P das Gewicht des Wassers, welches in ihm enthalten ist, bedeuten. Diese Wärmemenge entspricht 7,9 Wärmeeinheiten für die Minute (d. h. 7,9 g Wasser auf 1⁰ C. erwärmt, für die Fläche von 1 qcm). Für die Dauer des gasometrischen Versuches und die Fläche des Blattstreifens ist die Wärmesumme, welche einstrahlte, somit gleich 395,0 Wärmeeinheiten. Berechnen wir nun aus der Menge des Gases und den vorliegenden Zuwachsen an Sauerstoff die Verbrennungswärme der reducirten Substanz.

ſtrahlung beträgt bei der lichteren Buche näherungsweiſe das Doppelte wie bei der dunkleren Fichte;

20⁰ bei den Pflanzen mit kürzeſter Umtriebszeit der Blattfläche iſt (ſoweit die Experimente reichen) die abſolute Production am größten — bei den Nadelhölzern mit längſter Umtriebszeit iſt ſie am kleinſten — bei den Laubbäumen mit mittlerer Umtriebszeit iſt ſie eine mittlere — für gleiche Intenſität der Beſtrahlung;

21⁰ die Gegenwart eines rothen Pigmentes neben dem Chlorophyll bewirkt, namentlich wenn die Nervatur roth gefärbt iſt, daß in dem Blatte mehr Strahlen aus der Nähe des Optimum (im Spectrum) zur Wirkung kommen, die Aſſimilation iſt dem entſprechend größer;

22⁰ bemerkenswerth iſt, daß die Fähigkeit zu aſſimiliren unter ſonſt gleichen Bedingungen in den verſchiedenen Theilen einer und derſelben Blattfläche innerhalb ſehr weiter Grenzen ſchwankt, ſo beim panachirten Ahorn zwiſchen 0,181 für die weiße und 10 für die grüne Fläche;

23⁰ in mehreren Verſuchen über die abſolute Production in der Einheit der Fläche (bei der Buche), welche an einem und demſelben Tage parallel laufend mit Beobachtungen am Pyrheliometer ausgeführt wurden, ergab ſich:

a) die auf den Quadratcentimeter der Erdoberfläche in der Minute zugeſtrahlte Wärme gleich 0,5708 — die in gleicher Zeit und Blattfläche geſpeicherte Wärme gleich 0,0021 Wärmeeinheiten (Mittags);

b) die zugeſtrahlte Wärme 0,6646 — die im Blatte geſpeicherte 0,00366 (Morgens 9 Uhr);

c) die zugeſtrahlte Wärme 0,8247 — die im Blatte geſpeicherte 0,0426 (Nachmittags 3 Uhr).

Das Verhältniß der im Pflanzenblatte in Form verbrennlicher Subſtanz geſpeicherten Wärme zu der zugeſtrahlten Wärmemenge iſt 1 : 19, wenn die Strahlung am größten; ſie iſt 1 zu 181, wenn die Strahlung der Wärme eine mittlere, und ſie iſt 1 zu 271, wenn die Zuſtrahlung am kleinſten iſt;

Wenn V das urſprüngliche Gasvolum, in welchem ein Blatt 50 Minuten lang aſſimilirte, p der urſprüngliche Procentſatz der Kohlenſäure, p' der Procentſatz der Kohlenſäure nach der Inſolation, s das ſpecifiſche Gewicht der Kohlenſäure, bezogen auf Waſſer als Einheit, und v das Verhältniß des Kohlenſtoffs im Atomgewicht der Kohlenſäure bedeuten, wenn wir ferner annehmen, der gewonnene Kohlenſtoff gehe in eine Verbindung über, welche die Verbrennungswärme der Celluloſe (des Holzes) beſitzt, und nennen k dieſe Verbrennungswärme, ſo iſt die in 50 Minuten gewonnene Wärme

$$W = V \frac{(p - p')}{100} s\, v\, k.$$

Setzen wir hierin die beobachteten Werthe ein, ſo erhalten wir 1,4011 Wärmeeinheiten und für die Minute 0,02335, während der gleichen Fläche zu derſelben Zeit

24⁰ in zwei Parallelverfuchen, in welchen die verfchiedenen Grade des Waldfchattens dadurch hergeftellt waren, daß gleiche Blattftreifen desfelben Baumes in einem divergenten Strahlenbüfchel mittelft des Helioftaten und der Sammellinfe beleuchtet waren, zeigte fich, daß mit finkender Intenfität das Blatt der Buche (mit kleinerer Extinction) rafcher in der Affimilation finkt als das Blatt eines zweiten Baumes (Eiche) mit größerer Extinction für die Strahlengruppe *BC*;

25⁰ führt man das grüne Blatt durch ein lichtfchwaches, aber fcharfes Spectrum, fo erfcheint es unferem Auge am meiften durchleuchtet im Grün und im äußerften Roth, dunkelbraun und fchwarz im I. Abforptionsftreifen in der Nähe der Lithionlinie zwifchen *B* und *C* und im Gelb, wo zwei Streifen von etwas geringerer Extinction liegen. Es geht hieraus hervor, daß die Strahlen im Spectrum, welche unfere Augen am meiften afficiren, nicht diefelben find, welche das grüne Blatt durchleuchten;

---

etwa 0,5632 Wärmeeinheiten zuftrahlten. Dieß entfpricht dem 24. Theil der eingeftrahlten Wärmemenge. Unter den günftigften Umftänden der Affimilation in dem Laubblatte der Buche wird fomit nur der 24. Theil der zugeftrahlten Wärme in Form von verbrennlicher Subftanz (Cellulofe) capitalifirt.

Stellen wir die Refultate der Verfuche zufammen unter den folgenden Vorausfetzungen:

1⁰ möge das Lichtareal mit der einfachen Blattlage überzogen fein, welche in dem gleichen Maße, wie es im Experiment beobachtet, verbrennliche Subftanz durch die ganze Umtriebszeit capitalifire;

2⁰ möge durch die Umtriebszeit diefelbe Beftrahlung herrfchen, wie im günftigften Falle in den vorftehenden Verfuchsreihen, und es möge die zugeftrahlte Wärmemenge verglichen werden mit der durch Verbrennung der capitalifirten Subftanz erzeugten. Wir erhalten die folgende Tabelle:

			Extinctionsgröße für die Strahlen *B, C.*	Wärmemenge aus dem in 1 Minute auf 1 qcm Blattfläche reducirten Kohlenftoff.	Zugeftrahlte Wärmemenge in 1 Minute auf 1 qcm.
Fichte	Verf.	XIV		0,00647	0,68675
Kiefer	«	XIV		0,0079	
Buche	«	X	1	0,0119	
«	«	XIV	1	0,0276	
Lactuca	«	X		0,0305	
Hainbuche	«	XI	1,182	0,04248	
Roßkaftanie	«	XI	1,625	0,0528	
Erle	«	XI	1,625	0,0546	
Phafeolus	«	X	1,857	0,056	
Beta	«	X	1,625	0,0665	
Kartoffel	«	X	2,166	0,0891	

26⁰ führen wir dasſelbe Blatt durch ein lichtſtarkes Spectrum, welches von einem weiten Spalte herrrührt, ſo erſcheint das Blatt im Gelb am hellſten; dieß aber rührt daher, daß wir es dort nicht mit homogenem Lichte, ſondern mit dem unzerlegten Strahlenbüſchel zu thun haben;

27⁰ alle Beſtimmungen der Aſſimilationsgröße im Sonnenſpectrum ergaben zwei Perioden, welche nur auf die Abſorptionsſtreifen zurückgeführt werden können;

28⁰ alle derartigen Verſuche im lichtſtarken Spectrum leiden an demſelben Fehler, wie der unter 26 genannte;

29⁰ alle derartigen Verſuche ergeben im lichtſchwachen Spectrum inſofern ein negatives Reſultat, als in den Gasbehältern ein Zuwachs an Sauerſtoff unterbleibt, während die Kohlenſäure einen Zuwachs erfährt. Der kleinere Zuwachs dieſer letzteren entſpricht nach einer früheren Discuſſion einer größeren Production und herrſcht in den Abſorptionsſtreifen, deßwegen ſind dieſe Verſuche nicht abſolut werthlos;

30⁰ die Methode der Herſtellung eines derivirten Spectrums, welche von Stokes zuerſt vorgeſchlagen wurde, zeigt uns, daß alle leuchtenden Strahlen, mit Ausnahme des tiefſten Roth, in einer gewiſſen Tiefe der Chlorophyllmaſſe in Strahlen einer und derſelben Brechbarkeit verwandelt werden. In einer gewiſſen Tiefe einer ſehr großen Chlorophyllmaſſe iſt Durchleuchtung nur möglich mit Strahlen von der geringſten Brechbarkeit bis zur Strahlengruppe *BC*, welche letztere längſt abſorbirt iſt, wenn nur noch rothes Licht herrſcht;

31⁰ werfen wir einen Blick auf den innern Bau des Blattes. Die chlorophyllführenden Flächen enthalten, wie bekannt, bei der großen Mehrzahl der Laubbäume einſeitig geſtreckte und normal zur Blattfläche orientirte Zellen, in welchen die Chlorophyllkörper entſtehen, der Apparat iſt für die Abſorption eines ſenkrecht zur Blattfläche eindringenden Strahles angepaßt;

32⁰ behalten wir die Abſorptionsphänomene im Chlorophyll im Auge

---

(Die Extinctionsgrößen der drei letzteren Culturpflanzen, bezogen auf die Buche als Einheit, wurden mit Hilfe des oben [S. 500] beſchriebenen Apparates beſtimmt: für das Erythroſkop liegt die Grenze für Phaſeolus bei 15, für Kartoffel bei 14, für Beta bei 17. Für das bloße Auge entſpricht für Phaſeolus das 19., für Kartoffel das 15. und für Beta das 19. Blatt der abſoluten Dunkelheit. Die Grenze an der Lichtſäule lag an dem Tag, an welchem die Beſtimmung ausgeführt wurde [am 8. Aug. 1875], bei 14⁰ der Scale.)

Bei den Pflanzen mit mittlerer Umtriebszeit, den Laubbäumen, iſt die abſolute Productionsgröße eine mittlere.

Die Temperatur der Sonne wird auf 29 000 000⁰ C. geſchätzt. Sie giebt alljährlich ſo viel aus, daß ein dem Sonnenvolum gleiches Volum Waſſer um 1,25⁰ C. erwärmt würde.

Die Erde fängt aus der mit der Sonnenentfernung beſchriebenen Kugel den 10 000 000ten Theil heraus.

und betrachten die Evolution der Baumkrone: der Baum muß in der Anlegung der lichtabsorbirenden Blätter zwei Aufgaben genügen. Die erste fordert Absorption des Lichtes in dem Blatte, die zweite fordert Durchleuchtung für tiefer in der Krone belegene Blätter und Zweige. Er genügt der ersten Anforderung durch die Bildung des Pigmentes, — er genügt der zweiten, indem er die Blätter so vertheilt, daß durch die Lücken der directe Sonnenstrahl von der ersten zur zweiten Blattschicht gelangt, — er genügt keiner der beiden Anforderungen für die ganze Dauer der Kronenentfaltung und Stammbildung. Denn beachten wir, daß nach dem morphotischen Gesetz, das ihn beherrscht, alljährlich eine neue Zweigordnung gebildet wird, daß wir aber in Hochwaldsbäumen höchstens 10 Ordnungen vorfinden, so müssen in dem 100jährigen Baume 90 blatttragende Generationen vernichtet worden sein und es bleibt in dem schönsten Hochwaldbaume streng genommen nur eine traurige Reminiscenz an all den Reichthum in der äußeren Gliederung während der vergangenen 100 Jahre;

33⁰ jeder einzelne Zweig lehrt uns, daß die tieferen Blätter im Kampf mit den höheren stehen, weil letztere die ersteren beschatten. Es ist von Interesse, den Unterschied in der Blattfläche kennen zu lernen zwischen beiden, und diesen zu vergleichen mit der Extinction, welche wir für die verschiedenen Waldbäume früher bestimmten. Wir wählen einige Blätter mit der geringsten und einige mit der größten Extinction, wägen die Papiersilhouette des unteren beschatteten und des oberen beleuchteten Blattes eines Zweiges, so finden wir, daß bei den Bäumen mit größerer Extinction des Strahles der Größenunterschied zwischen dem beleuchteten und dem beschatteten am bedeutendsten ist.

Fassen wir nun die Ergebnisse und die Folgerungen aus den letzten einunddreißig Sätzen zusammen, so erhalten wir aus 30⁰ und 31⁰:

34⁰ die Andeutung, daß ein Strahlenbüschel der Sonne in dem Baume durch Absorption so erschöpft wird, daß in geringer Tiefe Production in grünen Blättern, ja Production von grünen Blättern unmöglich wird, indem wir 28⁰ und 29⁰ zusammenfassen und beachten, daß auch das Pigment selbst discontinuirlich (in einzelnen Tropfen) vertheilt ist;

35⁰ das grüne Blatt zeigt in seiner anatomischen Beschaffenheit Anpassung an eine Tendenz, den Strahl der Intensität noch zu schwächen, auszulöschen.

Aus den Sätzen 23⁰, 24⁰ und 28⁰ ergiebt sich:

36⁰ die Strahlen, welche die Medien unseres Auges durchleuchten und dort den Eindruck am stärksten bewirken, den wir Licht nennen, sind nicht dieselben wie diejenigen, welche das Blatt am tiefsten durchdringen.

Aus 25⁰, 26⁰, 27⁰, indem wir 9⁰, 10⁰, 16⁰ und 28⁰ hinzuziehen, erhalten wir:

37° unter allen Strahlen des Spectrums befitzen diejenigen des erften Abforptionsftreifens die größte affimilatorifche Bedeutung, fo daß wir fagen können: Die Strahlen geringer Brechbarkeit im Spectrum bis zum Gelb durchdringen das Blatt oder den Blättercomplex am tiefften, wirken aber in dem Maß affimilatorifch, in welchem fie abforbirt werden.

Die Sätze 1—5 und der Nachweis (in 23°), daß in dem Blatte ein nicht unbeträchtlicher Theil der Sonnenwärme (bei günftigften Affimilationsbedingungen der 19. Theil der eingeftrahlten) in der Verbrennungswärme der reducirten Subftanz gefpeichert wird, fordern Abforption des Lichtes. Gar nicht foll damit gefagt fein, daß die Strahlen der Abforptions-Streifen fpecififch affimilatorifche feien, nur foviel halte ich für erwiefen, daß alle Strahlen der Sonne, welche affimilatorifch thätig find, gefchwächt werden müffen, weil fie es find. Das einfache Pflanzenblatt erfchöpft nicht einmal vollftändig den chemifchen (photographifch wirkfamen) Theil des Strahlenbüfchels, welcher es trifft. Es erfchöpft erft in 6—8facher Lage die Strahlengruppe *BC*, aber felbft in höherer Schichtenzahl herrfcht noch Licht, das äußerfte Roth. Dort muß auch noch Affimilation herrfchen, wennfchon in geringem Maße. Wollte man nun fagen, diefen Strahlen geringfter Brechbarkeit kommt die Hauptwirkung zu, fo würde man im Widerfpruch mit der Theorie und mit den experimentellen Ergebniffen ftehen; — wollte man andererfeits annehmen, die Strahlen, welche am meiften durchleuchten, haben die größte Wirkung, fo müßte in der Strahlengruppe des äußerften Roth das Maximum der Affimilation liegen, was durch das Experiment widerlegt ift.

---

§ 38. Fortleitung der assimilirten Körper.

Mit den bisher gefchilderten Bewegungen nach der Chlorophyllzelle des Blattes geht, wie fchon oben (S. 471) angedeutet ift, die Rückleitung der affimilirten Körper in der Zeit parallel. Die transitorifche Stärke, der Zucker, das Inulin, die organifchen Säuren, die Salze, die Harze, die Gummiharze, die Effenzen u. a. m. entftehen im Blatte und ergießen fich von dort aus über das ganze rückwärts belegene Syftem, Zweig, Aft, Stamm, Wurzel bis zur äußerften Endigung des Wurzelhaares. Wir dürfen mit Beftimmtheit hieraus fchließen, daß diefe Rückleitung ein Moment für die auffteigende Wafferleitung ift, d. h. für jedes Theilchen der osmotifch wirkfamen Subftanz, welches in dem genannten Weg vom Blatte abfließt, muß eine beftimmte Waffermenge nach dem Blatte ausgetaufcht werden.

A. Aeussere Kennzeichen für das Ziel des Stromes.

Aus der äußeren Beobachtung ergiebt sich schon, daß das Ziel des von den Blättern abfließenden Stammes je nach der Lebensweise der verschiedenen Pflanzenraçen sehr verschieden sein muß.

Bei den Pilzen und niederen Algen ist das Ziel vorzugsweise der Ort, wo die Propagationszellen entstehen. Die größte Masse der gewonnenen oder producirten Nährkörper wird in den Oogonien und Sporen angesammelt.

Die Familie der Flechten zeigt die langsamste Production von verbrennlichen Kohlenstoffverbindungen, welche vorzugsweise zum allmäligen Aufbau des vegetativen Lagers verwandt wird.

Die Moose verbrauchen das gebildete Material ebenfalls zum langsamen Aufbau der vegetativen Stämme bei den perennirenden Formen. Ein merklich wägbarer Theil geht alljährlich in der Bildung der Sporenkapseln auf.

Bei höheren Cryptogamen, den perennirenden sowohl wie den einjährigen, macht sich die Blattperiode als ganz bedeutender Aufwand geltend. Der Zuwachs an zurückgelegter Masse ist in den perennirenden Formen sehr klein, mit Ausnahme der wenigen großen Farren, Pteris, Struthiopteris, Aspidium und der baumartigen Marattien u. a. m. der Tropen. Absolut auf die Erhaltung der Keimkraft in den Sporen beschränkt ist Salvinia natans.

Bei allen höheren Pflanzen (allen Coniferen) und allen Blüthenpflanzen wird alljährlich ein Aufwand an fester Masse in dem Verlust eines Theiles oder aller Blätter eines Theiles oder der ganzen Masse des vegetativen Systemes gemacht. Der zu betrachtende Strom geht vorzugsweise nach zwei Richtungen:

a) In der laufenden Vegetationsperiode wird in der Keimung ein Theil der Masse, welche von der vorhergehenden und untergegangenen Generation stammt, vertheilt für den Aufbau der vegetativen Organe. Das Ziel der in dem Laubblatt gewonnenen Assimilationsproducte ist eine höhere Stamm-, resp. Zweigregion. Der gesammte vegetative Körper erschöpft sich, geht ein (die einjährigen Samenpflanzen).

b) Das Ziel der in der vorhergehenden Vegetationsperiode gewonnenen Reservekörper geht von den perennirenden Theilen, Stämmen, Rhizomen, Knollen, Zwiebeln, Wurzeln u. s. f. nach den Keimorten für die Organe der laufenden Periode, wird erschöpft, und die Blätter derselben Periode liefern die Nährkörper, welche nach zwei Zielen strömen:

1° wie unter *a*;

2° der zweite Theil wiederum nach den perennirenden Organen.

An dem complicirteſten Gebilde bei unſerem Waldbaume fließt das in einer Sommerperiode gewonnene Material:

1⁰ noch in demſelben Sommer nach den Zuwachsſchalen von Zweig, Aſt, Stamm, Wurzel, wird dort zu feſtem Holz;

2⁰ nach den Knoſpen, wo ein Theil reſervirt wird, ein anderer direct zum Aufbau der Blätter Verwendung findet;

3⁰ wird ein Theil in den leitenden Geweben von der äußerſten Wurzelſpitze bis zum äußerſten Zweige, reſp. Blatte bei Immergrünen reſervirt, um den Aufwand im erſten Monat der nächſten Sommerperiode zu decken.

Aus dieſer äußeren Betrachtung ſchon, welche freilich ohne die phänologiſchen Kenntniſſe des Pflanzenwachsthums von den niederen nach den höheren Pflanzen nicht ſo leicht überſichtlich wird, geht hervor, daß die Fortleitung der hier zu betrachtenden Körper faſt unabhängig von der Gravitation iſt.

Die Richtung nach oben iſt Folge der in dem Ziel herrſchenden Wachsthumsvorgänge, d. h. die im gegebenen Blatte neugebildeten Körper wandern nach einer höher ſtehenden reifenden Frucht oder nach einer tiefer belegenen wachſenden Knolle, weil dort ein merklicher Verbrauch von Zelle zu Zelle nach dem Heerd der Production zurückwirkt.

Derſelbe Strom geht hauptſächlich nach dem rückwärts gelegenen Stamm, dem Wurzelkörper, unabhängig von dort zunächſt herrſchenden Wachsthumsvorgängen, weil in entgegengeſetzter Richtung das Waſſer ausgetauſcht wird.

Zur allgemeinen Theorie der Erſcheinung können wir daher ſagen:

Jeder Zuwachs bedingt an dem Baume, wie leicht aus dem hiſtologiſchen Verhältniß (von Holz und Rinde) erſichtlich, eine Druckſchwankung. Wir erhalten ſomit, wenn wir zunächſt von der Evolution der Blätter abſehen, wie wir dieß bei den Nadelhölzern mit Ausnahme der Lärche können:

1⁰ in der Anhäufung der plaſtiſchen Körper in dem chemiſch poſitiv geſpannten Theil das cauſale Phänomen, d. h. zuerſt müſſen die plaſtiſchen Körper im Blatte entſtehen;

2⁰ in den Anziehungskräften rückwärts vom Blatte das Moment der osmotiſchen Bewegung (Diffuſionsbewegung);

3⁰ aus der Vertheilung des Druckes in Folge des Zuwachſes und aus der Moleculargeſchwindigkeit (dieſe iſt von der chemiſchen Natur des ſtrömenden Körpers und der Temperatur abhängig) der plaſtiſchen Körper die Geſchwindigkeit und die Richtung der Bewegung.

Dieſe drei Momente wirken gleichzeitig.

Stellen wir für eine Temperaturperiode (März bis October) die In-

tenfität der Bewegungsurfachen als Function der Zeit dar, fo wird fich zeigen, daß ihre Maxima nicht zufammenfallen (f. weiter unten, Abfchnitt Wärme).

Nehmen wir an, die Protoplasma-Strömung in den Nitellazellen fei eine folche, wie fie für die Translocation vom Blatte aus rückwärts am Baume von Bedeutung ift, fo würden nach den Meffungen NÄGELI's für einen Modellftamm (Fichte) von 30 m Höhe, welchen wir der Betrachtung zu Grunde legen wollen, wenn keinerlei Widerftände in der Richtung der Axe zu überwinden, wenn die Röhrenleitung continuirlich wäre, die folgenden Zeiten nöthig, damit das Theilchen die Strombahn einmal durchläuft:

Temperatur.	Zeit.
5° C.	Tage 84,63
10° »	» 27,77
15° »	» 17,36
20° »	» 12,50
25° »	» 9,02
30° »	» 5,20
35° »	» 3,47

Denken wir uns nun einen Osmometer mit der gleichen Membran befpannt, aber von der Größe eines Cylinders oder Kegelmantels, welcher in der Zone des Zuwachfes an dem Baumftamme liegt, wählen dazu einen Stamm von mäßigen Dimenfionen und fehen von den Aeften und Zweigen ganz ab, fo erhalten wir an einem ausgemeffenen Modellftamm näherungsweife das Verhältniß der Fläche des Osmometers zur Kegelfläche des Stammes wie 1 : 800,000, wenn wir einen Fichtenftamm wählen, deffen Durchmeffer gleich 0,5, deffen Höhe 20 m betragen möge.

Die Kegelfläche fcheidet allein durch Osmofe einen Holzring ab, deffen Dicke für das Jahr 1873 beträgt:

Höhe über dem Boden in m.	Dicke des Jahrrings 1873 in mm.	Dicke des Stammes in m.
2	14	0,420
8	9	0,295
14	7	0,195
20	8	0,074

Sehen wir von der ungleichen Vertheilung am Stamme in transverfaler Richtung ab und nehmen eine aus den Daten fich ergebende mittlere Dicke des letzten Zuwachsringes an, fo erhalten wir 0,011 cbm Holz, welche, wenn wir das fpecififche Gewicht des Holzes gleich 0,5 fetzen, 5,5 kg entfpricht.

Der Osmometer von der Größe des Kegelmantels unferes Stammes würde in einem Tage unter gewöhnlichem Drucke und bei einer mittleren Temperatur von 15° C. 57,8 g

Zucker abſcheiden (nach den Verſuchen S. 413). Nehmen wir nun als mittlere Dauer der Secretion für unſere Breite vier Monate an unter der Vorausſetzung, daß die Secretion eine ſtete und nicht beſchleunigte Bewegung ſei, ſo erhalten wir 7963,0 g Zucker, und man ſieht leicht ein, daß der Proceß der Translocation als ein Diffuſionsvorgang für gewöhnlichen Druck nur gedacht werden kann, wenn es ſich um einmalige Dialyſe handelt. Da nun dasſelbe Theilchen des Membranogens auf jedem Theile ſeiner Bahn, ſowohl in der transverſalen wie in der Längsrichtung, unzählige Membranen zu überwinden hat, ſo iſt leicht begreiflich, daß, Temperatur und Zeit in unſerer Rechnung noch ſo günſtig bemeſſen, ein höherer hydroſtatiſcher Druck dazu gehört, um die nöthige Menge des plaſtiſchen Materials an den Ort des Verbrauches zu liefern.

Wir können aber auch, in Betracht auf die ungeheure Bahn, welche ein Theilchen zweimal im Jahre durcheilt, wenn wir an einen Rieſenbaum von mehreren hundert Fuß Höhe denken, die folgende Frage direct anknüpfen:

Durcheilt das plaſtiſche, aber gelöſte Theilchen den gedachten Weg raſcher, wenn die ganze Bahn nur aus Waſſer, oder wenn ſie aus wechſelnden Aggregatmembranen — Waſſermembran beſtünde?

B. Der Rindestrom.

Die Entblößung des Holzſtammes durch Abreißen der Rinde ſiſtirt an dem Orte der Verwundung den Zuwachs. Von dem ſtehengebliebenen Rindenſtreif aus Fig. 444 wird die Wunde vernarbt. Die Entblößung der Rinde wirkt für den Rindeſtrom wie eine Stauung, die Nährkörper, welche von den Blättern rückwärts durch Osmoſe oder in den Leitzellen fließen, werden an den Rändern der Wunde angehäuft, dieß macht ſich durch den in der Figur 444 in die Augen ſpringenden mächtigen Zuwachs kenntlich.

1. Erfolg der Ringelung und Fensterung.

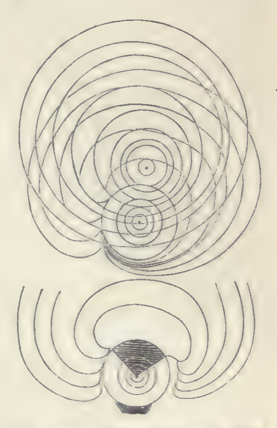
a) Die Abhängigkeit der Callusbildung von der Phaſe, in welcher der Zuwachs ſteht, konnte durch Fenſterung an einem 45 Jahre alten Eichenſtamm gemeſſen werden.

Gleichgroße Rindenfenſter wurden an demſelben an den früher ſchon genannten Daten angebracht und die Ausdehnung der zu jedem Datum entſtandenen Calli gemeſſen.

Datum.	Dicke des Callus in mm		
	aſcendens,	deſcendens,	lateralis.
20. Mai	2	10,3	15,5
4. Juni	0	1,5	8,3
19. »	0	0	0
4. Juli	0	0	0
19. »	2,5	2,3	4,5
4. Auguſt	0	0	0

Es erhellt hieraus, daß, entſprechend der Jahrringbildung in den erſten Daten, die Callusbildung von dem Vorrath an vorjähriger Stärke abhängig, in aufſteigender Richtung vorherrſcht, dann raſch erliſcht, um nur ſehr ſchwach im Ende der Jahrringbildung in abſteigender Richtung mit dem Zufluß der in dieſem Jahre gebildeten Bauſtoffe wieder zu beginnen.

b) Die Richtung des Rindenſchnittes, welcher die Leitung unterbricht, iſt für die Leitung nach dem Wundrande und die Zellbildung dort von Bedeutung. In den kreisförmigen Rindenfenſtern, wie ſie in den Fig. 350—355 dargeſtellt ſind, erkennt man dieß deutlich. Gemeſſen wurden 30 cm große Rindenfenſter. An der Eiche und Fichte ſchreitet der ſeitliche Callus in 3 Jahren um 31 und 38 mm, der abſteigende um 7 mm vor[1]).


Fig. 444. Eine dreijährige Kiefer wurde entrindet, die untere Figur. Sie heilte vom geſunden Rindentheil aus die Wunde in fünf Jahren vollkommen aus (ſ. Fig. 350, oben S. 356).

Einen Ueberblick über die Veränderungen der Translocation in der Baumrinde gewinnt man, wenn in Bruſthöhe an erwachſenen 100jährigen Buchen etwa mehrere Centimeter große rechteckige Rindenfenſter geſchlagen werden. Solches geſchah am 24. April, 5., 15. u. 21. Mai, 1. u. 15. Juni. In Fig. 445 wurden die Längen und Dicken der über den Wundrand vorgeſchrittenen Callusmaſſen als Function der Zeit dargeſtellt, wie ſie nach 8 Monaten etwa gemeſſen wurden. Man erkennt aus der Curvenſchaar, daß die Translocation zwei Maxima hat, eines, und dieß iſt das abſolute, im Mai, von dem Verbrauch des Reſervematerials aus der vorjährigen Periode herrührend, das zweite im Juli, wo bereits die im laufenden Jahre von der Krone abſtrömenden Aſſimilationsproducte zur Geltung kommen.

Von Intereſſe ſind ſchraubenlinige Entrindungen, welche den Stamm mehrmals umkreiſen. Solche Ringelungen wurden an Eichen und Pappeln ausgeführt. Nach drei Jahren wurden die Callusmaſſen gemeſſen.

Von *A*, Fig. 446 *A*, bildet ſich über die Wundfläche ein abſteigender, von *B*, Fig. 446 *A*, bildet ſich ein aufſteigender Callus, welche beide mit wechſelnder Intenſität in die Schraubenlinie ausfließen. Ganz abweichend von der Vertheilung der Holzmaſſe in dem Schraubenband der Lonicere zeigt ſich hier nun, daß die Schnelligkeit der Ueberwallung in beiden Richtungen mit der Länge der Bahn wechſelt. Die Länge, bis zu welcher der Callus die Wundfläche in 3 Jahren bedeckt hat, iſt in der Fig. 446 *A* in

---

[1]) Eingehendes ſ. Bot. Unterſ. Bd. I. S. 193 ff.

dem gleichen Maßſtabe wie der Querſchnitt dargeſtellt, und zwar bedeutet der Abſtand der Curve *A A'* u. ſ. f. von dem Kreiſe *O N W S* die Länge des aufſteigenden, der Abſtand der Curve *B B'* u. ſ. f. von dem Kreiſe *O N W S* die Länge des abſteigenden Callus. Die ſchraubenlinige Wunde umſchrieb zwei Kreisumläufe und ſinkt an dem Stamm mit dem Pfeil. Eine genaue Ausmeſſung der Länge des Callus in den verſchiedenen Orten ergiebt die folgenden Größen von oben nach unten:

Himmels-gegend.	Callus aſcendens.	Callus deſcendens.
O	31,5 mm	14,7 mm
N O	30 »	14,0 »
N W	17,5 »	15,5 »
W	10 »	19 »
S W	3 »	19 »
S	0 »	22 »
S O	0 »	20 »
O	0 »	20 »

Sowie Fig. 446 *A* für die Ausdehnung der Calli in longitudinaler Richtung, ſo iſt Fig. 446 *B* für die Dicke derſelben dargeſtellt.

W N O S iſt hier wiederum der Stammquerſchnitt. Die innere Spirale der aufwärts-, die äußere der abſteigende Callus.

Auch hier zeigt ſich dieſelbe geſetzmäßige Abnahme im Norden. Wir legen unter den Folgerungen, die ſich aus vorſtehenden Meſſungen ergeben, das Hauptgewicht auf dieſes Ergebniß:

Das Spiralband zwingt die beiden Ströme, den von der Wurzel und den von der Krone kommenden, in einen Umweg, ohne daß die Leitung abſolut unterbrochen würde. Der Callus des oberen Wundrandes, welcher durch den abſteigenden Strom ernährt wird, nimmt in abſteigender Richtung ſtetig an Maſſe zu, der aufſteigende Callus des unteren Wundrandes nimmt dagegen in derſelben Richtung ab. Dieß beruht offenbar darin, daß der letztere vorzugsweiſe von dem Zweigſyſtem der Wurzel ernährt wird, aber nicht in dem Maße, wie der abſteigende Callus, welcher direct den Strom der abſteigenden Aſſimilationsproducte weiterleitet.

2. Versuche mit Stecklingen.

An Stecklingen kann man nach der Entblätterung die Rindenleitung durch ein Ringelband unterbrechen, welches den Steckling in zwei gleiche Hälften theilt. In dieſem Falle ſind die beiden Querſchnittsflächen und die beiden Wundränder unter ſich gleich. Die beiden durch die wenige Centimeter breite Ringelwunde getrennten Cylinderſtücke entſprechen zwei

gleichen Reſervoiren für die in ihnen vorhandenen Nährkörper. Legt man den Ringelſchnitt aber ſo, daß ein kleineres Cylinderſtückchen durch denſelben von einem größeren getrennt wird, ſo verhalten ſich die beiden Reſervoire ungleich, der obere Wundrand wird ſtärker ernährt wie der untere. Hanstein[1]) ſtellte in dieſem Sinne zuerſt ein Differenzexperiment an, welches ich alljährlich für die Vorträge wiederholte, um die Bedeutung der Siebröhren, Leitzellen für die Translocation zu erweiſen. Er ſtellt Stecklinge in der zuletzt angegebenen Weiſe von ſolchen Pflanzen her, welche ihre Leitzellen nur in der Rinde beſitzen, z. B. Weide und ähnliche für Pflanzen, bei welchen die Leitzellen im Mark und in der Rinde vorkommen, z. B. Oleander. Die Weidenſtecklinge bilden die adventiven Wurzelknoſpen nur am oberen Wundrande aus, weil nur dieſer mit dem größeren Reſervoir durch Leitzellen in Verbindung ſteht; der Oleander bildet ſie aber am unteren und oberen Wundrand und ſelbſt aus der unteren Querſchnittsfläche des Stecklings. Hieraus ergiebt ſich die Bedeutung der Leitzellen für die Translocation.

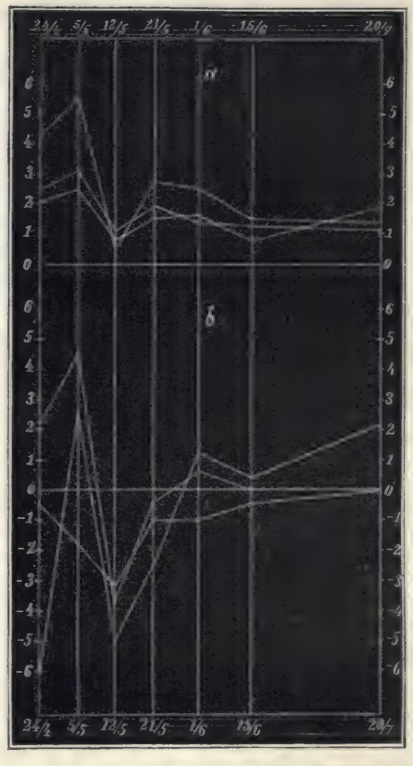


Fig. 445. Curvenſchaar in *a* und *b*. In beiden bedeutet *o* die Abſciſſenaxe, die Zeit. Die Ordinaten bedeuten in *a* die Dicke des Callus in Rindenfenſtern, welche an 100jährigen Buchen geſchlagen wurden, an den oben und unten verzeichneten Daten, 24. April, 5. Mai, 12. Mai, 21. Mai, 1. Juni, 15. Juni, 20. Juli, und es iſt die in *4* einſetzende Curve in *a* für den ſeitlichen Callus, die zwiſchen *3* und *2* beginnende gehört dem aufſteigenden, die in *2* beginnende dem abſteigenden. Die Curvenſchaar *b* ſtellt im gleichen Sinne das Vorrücken des Callus über den Wundrand dar. Hier werden die Abſciſſenwerthe zum Theil negativ, d. h. die Gewebe in der Nähe des Wundrandes trocknen rückwärts ein, die Curve, welche bei *-6* beginnt, gehört dem abſteigenden, die zwiſchen *0* und *-1* beginnende dem aufſteigenden und die bei *2* beginnende dem ſeitlichen Callus an. Sämmtliche Meſſungen wurden am Ende des erſten Jahres gemacht. N. M. Kienitz. Forſt- und Jagdzeitung 1877.

Um einen Ueberblick über die Translocation an einem Waldbaum zu gewinnen, welcher für Blüthen einen kleinen, für die Blattmaſſe einen begrenzten größeren Aufwand macht, beachten wir, daß der meßbare Zuwachs an Holzmaſſe, wie er endlich in dem Schaft und den Zweigen zu Tage tritt, urſprünglich in flüſſiger Form

---

[1]) Johs. Hanstein, Verſuche über die Leitung des Saftes durch die Rinde und Folgerungen daraus. S. 392. Pringsh. Jahrb. Bd. II. 1860.

von den Blättern abfloß, um sich fest niederzuschlagen, (man vergleiche Fig. 447); so kann man die osmotische Spannung für das Baumsystem berechnen, nachdem das Volum und die Holzmasse bekannt sind für die aufeinanderfolgenden Jahre, während welcher das System gewachsen ist. Eine solche Messung und Berechnung habe ich ausgeführt für 16 Jahre bei der Fichte. Ich berechnete aus genauen Messungen an dem Stamm, welcher in dem Sinne des Schemas, Fig. 447, aufgeschnitten war, die Holzmasse der Jahreslagen, werthete diese in Zucker aus und dachte mir diesen Zucker in dem Rindenvolum gelöst. In der beifolgenden Tabelle ist die Höhe des Stammes in Metern, das Volum der in einandergeschachtelten Jahresholzlagen, das Gewicht der Zuwachsmasse und das Verhältniß der festen Substanz in dem mit Wasser gefüllt gedachten Rindenvolum als osmotische Spannung ausgewerthet.

Jahr.	Höhe m.	Volum der Jahreslage ccm.	Gewicht des Holzes der Jahreslage grm.	Osmosis der Spannung.
2	0,2	0,00002	0,96	0,48
3	0,38	0,0009	4,32	1,08
6	0,56	0,0048	23,04	0,36
8	0,68	0,0086	41,28	0,253
10	0,84	0,0162	77,76	0,212
14	1,40	0,0766	367,68	0,286
16	2,27	0,3072	1474,56	0,345

Von Interesse ist hier, daß die osmotische Spannung nahezu um geringe Werthe hin und her schwankt, während das Volum und die Masse des jährlichen Zuwachses sowie das Gesammtvolum stetig zunehmen.

Die chemische Analyse des Blattes für den Verlauf einer Sommerperiode nach den werthvollen Untersuchungen von RISSMÜLLER[1]) hat ergeben:

in 1000 Theilen frischen Blättern der Buche:

am	7. Mai . .	Wasser	766,5	Th.	Trockensubstanz	233,5
»	11. Juni . .	»	597,9	»	»	402,1
»	14. Juli . .	»	563,6	»	»	436,4
»	11. August .	»	492,6	»	»	507,4
»	11. September	»	525,8	»	»	474,2
»	27. October .	»	596	»	»	403
»	18. November	»	544	»	»	455.

[1]) RISSMÜLLER, Stoffwanderung in der Pflanze. Göttingen. Huth. 1873.

Der Gehalt an Cellulose in Rohfaser in der Trockensubstanz schwankte von 144⁰/₀₀ der Trockensubstanz vom 7. Mai bis zu 209 am 11. Juni, 212 am 27. October, 255 am 18. November, sie nimmt also stetig zu.

Die stickstofffreien Extractivstoffe mit 502⁰/₀₀ der Trockensubstanz im Beginn culminiren mit 524⁰/₀₀ am 11. Juni, von da ab vermindern sie sich oder halten sich nahezu längere Zeit constant.

Die Proteïnkörper mit 282⁰/₀₀ der Trockensubstanz sinken bis 143⁰/₀₀ am 11. September, bis 78,12 am 18. November.

Die Fette von 23⁰/₀₀ im Beginn, 24 am 11. Juni, culminiren gerade gegen das Ende mit 55⁰/₀₀ am 18. November für 455⁰/₀₀ der Trockensubstanz.

C. Histologische und chemische Untersuchungsmethoden.

Zwei Wege können eingeschlagen werden, um über die Vertheilung der Assimilationsproducte über den

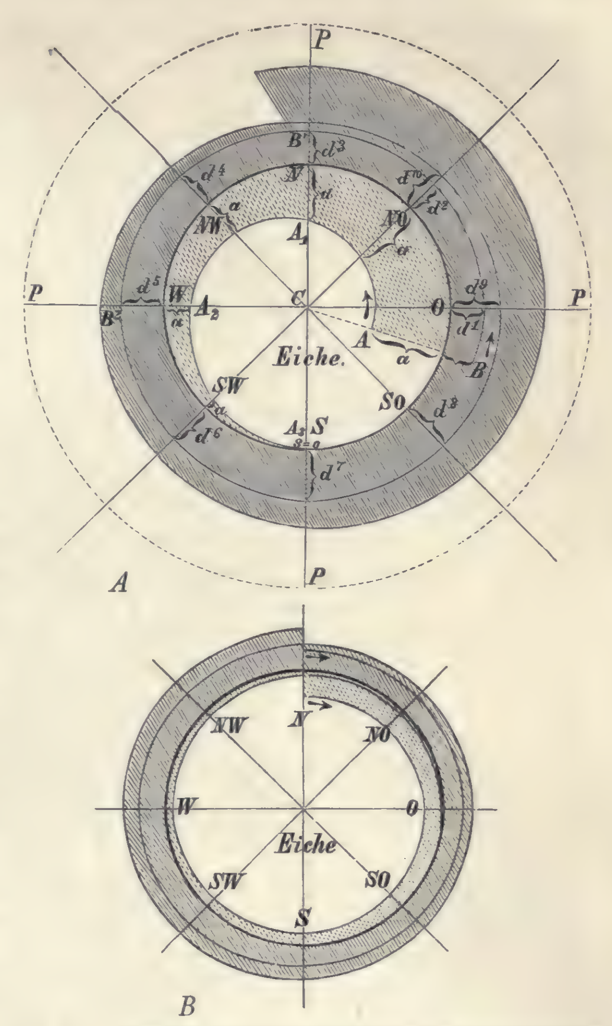


FIG. 446. *A* Schema des Zuwachses in einer schraubenlinigen Wunde, welche nach drei Jahren abgemustert wurde, nach genauen Messungen in ¹/₃ der natürl. Größe. Der Kreis *O N W S* ist der Querschnitt des Baumes zu den Himmelsrichtungen. Der Radius $CO = OP$ ist gleich dem Durchmesser des Schraubenbandes, welches den Stamm umkreist. Von dem Kreise *O N W S* wurde die Länge (d. h. die Ausdehnung in axiler Richtung) des Callus in radialer Richtung aufgetragen und zwar für den Callus descendens in centripetaler Richtung, es sind die Längen A A_1 A_2 A_3 bei *O, NO, N, NW* u. s. f. bis *AO* wie in *S*; für den Callus ascendens in centrifugaler Richtung von *B* ab sind es die Längen d_1 d_2 d_3 u. s. f. Wiewohl nun die beiden Wundränder parallel und gleichsinnig mit den Pfeilen den Stamm umkreisen, so theilen sich doch, wie man aus den angegebenen Längen sieht, zwei Ströme, von welchen der eine bei gleichem Sinne der Richtung ab-, der andere zunimmt. — *B* Schema des Zuwachses für einen ähnlichen Stamm wie *A* in ¹/₃ nat. Größe. Jetzt aber ist die Dicke des Callus (der Zuwachs im Wundrande) in radial transversaler Richtung gemessen; und zwar stellt die innere Spirale den Callus descendens, die äußere den Callus ascendens dar; beide beginnen ihre von oben nach unten fortschreitende Bahn in dem Orte, wo die Pfeile befindlich.

ganzen Körper der Pflanze Auffchluß zu erhalten. Man kann, da von folchen Körpern ein gewiffer Theil der Kohlehydrate als Zuwachs von Holz und allen vegetativen Theilen feft und dauernd wird, diefen Theil meffen und wägen und endlich ausgewerthet denken in Form folcher, zum Theil flüffiger Kohlehydrate, wie fie in der Pflanze vorkommen. Der zweite Weg ift die chemifche Reaction. Für eine kleine Anzahl der Affimilationsproducte befitzen wir einigermaßen fcharfe Reactionen[1]).

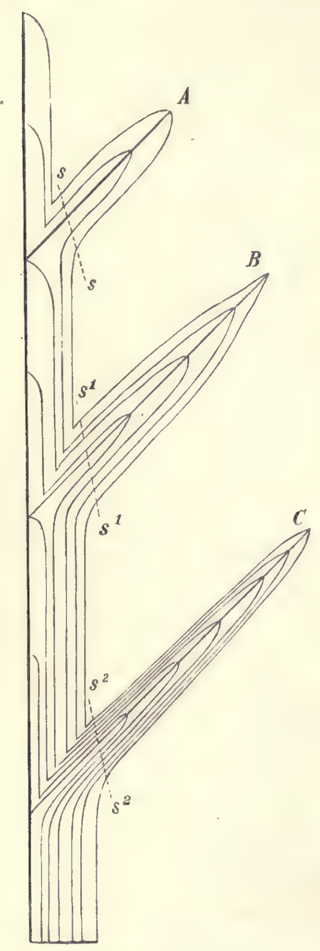


Fig. 447. Schematifcher Durchfchnitt durch einen Baum, an welchem nur die Aefte erfter Ordnung berückfichtigt wurden. *A B C* die Aefte. In *s* ift das Syftem zweijährig; in s^1 ift es dreijährig; in s^2 ift es fechsjährig u. f. f.

I.

Für die Mechanik der Translocation in der Baumrinde find diefe hiftologifchen Verhältniffe von einigem Intereffe. Die Zuwachsperioden der Rinde wechfeln zwifchen Baftparenchym, Leitzellen, Baftzellen u. f. f. (f. oben S. 377 ff.).

Nehmen wir den einfachften Fall, etwa die Fichtenrinde, in welcher Baftparenchym und Leitzellen wechfeln, fo zeigt die mikrofkopifche Unterfuchung, daß durch die Compreffion, welche der Holzkörper auf die inneren weicheren Rindenfchalen ausübt, ein Theil der Gewebe mehr comprimirt wird wie ein anderer. Die Leitzellen werden allmälig zu faft ftructurlofen Bändern zufammengepreßt. Diefer Vorgang fchreitet in centripetaler Richtung ganz entfprechend der Zuwachsrichtung für die Rinde fort, fo daß in einer äußeren Schale die urfprüngliche Structur mehr verwifcht ift wie innen. Umgekehrt liegt dieß für die ftärke- und zuckerführenden Baftparenchymzellen, Fig. 449, diefe nehmen ftetig bis zu beftimmter Grenze von innen nach außen an Volum zu[2]).

---

[1]) Th. Hartig, Entw. d. Pflanzenkeims. Leipzig 1858. Förftner'fche Buchh. — J. Sachs, Phyfiologifche Unterfuchungen über die Keimung der Schminkbohne. 1859. Ueber einige neue Reactionsmethoden. Wien 1859. — Dr. Th. Hartig, Das Gerbmehl. 53. Weitere Mittheilungen, das Gerbmehl betreffend. 237. Bot. Ztg. 65. — Borscow, Beiträge zur Hiftochemie der Pflanze. 17. 33. Bot. Ztg. 74.

[2]) Eingehenderes hierüber: Bot. Unterf. Bd. I. S. 246.

Da nun in der Fichtenrinde als beftem Studienobject die Leitzellengruppe und die Gruppe von ftärkeführendem Baftparenchym ftreng geometrifch geordnet find, fo läßt fich aus der Diftanz der letzteren ein Maß der

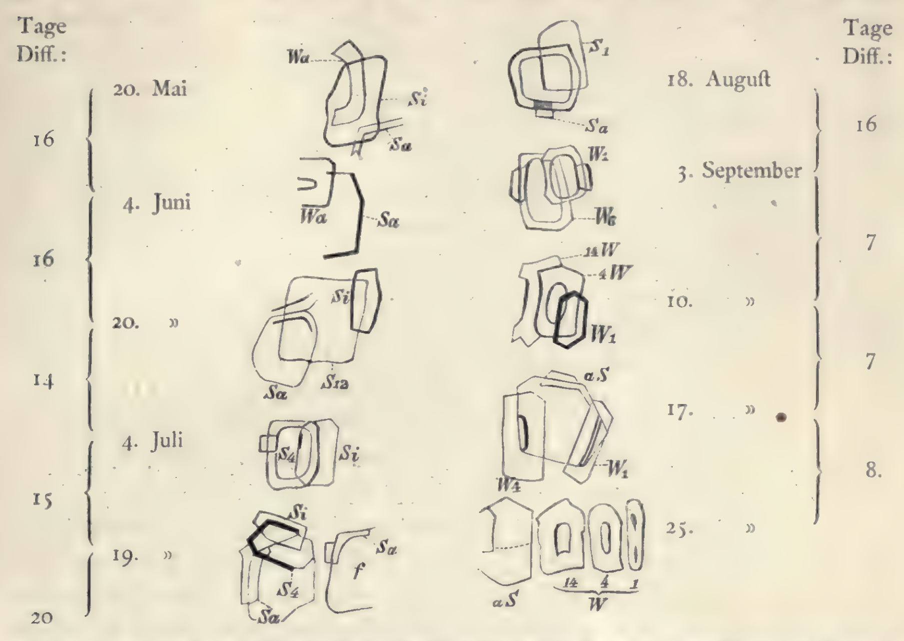


FIG. 448. Die Täfelchen für das Dickenwachsthum der Holzzellen beziehen fich auf diefelben Daten, *f* ift hier mit beachtet, während es für die Stärkeringe ausgelaffen wurde. Es bedeuten: S_1 die jüngfte Sommerholzzelle, S_2 die nächftjüngfte u. f. f., *Sa* die ältefte Sommerholzzelle, W_1 die jüngfte Winterholzzelle, W_2 die nächftjüngfte Winterholzzelle, *Wa* die ältefte Winterholzzelle.

Compreffion mikrofkopifch beftimmen. Die Diftanz zweier Stärkeringe beträgt im erften Jahr z. B. 35 Maßeinheiten, im vierten Jahr nur 3 Maßeinheiten und im elften Jahr 0, d. h. die Baftparenchymgruppen find in einander verfchränkt, die Leitzellen find vollftändig collabirt, auf ein minimales Maß zufammengedrückt.

II.

Auch die Gefammtcompreffion der Rinde hat ein Intereffe. Diefer Gegenftand ift indeß dadurch erfchwert, daß die äußerfte Rindenfchale nicht abfolut ftarr ift, fie dehnt fich und reißt (f. oben S. 340). Man kann nun dem Intereffe der Leitung dennoch genügen, wenn man für verfchiedene Regionen des Baumkörpers Meffungen ausführt über die Radienlänge des Holzkörpers und der Rinde[1]). Aus diefen ergiebt fich nahezu gleiche Compreffion eines Elementes der Rinde, deffen Volum gleich eins gefetzt fein

[1]) Bot. Unterf. Bd. I. S. 249.

möge, ehe die Anlegung des Jahrringes erfolgt. Das Volum ſinkt im Stamm auf 0,828, im Aſt der dritten Ordnung auf 0,735, im Aſt der ſiebenten Ordnung auf 0,680. Alſo herrſcht eine geringe, aber immerhin merkliche Druckſchwankung, welche von dem Stamm nach dem Aſt zunimmt. Die Volumverminderung iſt in den äußerſten Zweigen durch den Zuwachs größer wie im Stamme.

III.

Ein Maß für die Translocation am Baumſtamme konnte aus vergleichenden Meſſungen über den Holzzuwachs gefunden werden. Das beſte Studienobject ſind die Stämme unſerer Nadelhölzer, Fichte, Tanne, Kiefer. Für die Fichte wurden Meſſungen über die Vertheilung der Maſſe in einer Sommerperiode vorgenommen. Man beachte aus der anatomiſchen Structur des Jahrringes, daß eine Radialkette von Holzzellen beginnt mit weitlumigen Sommerholzzellen, welche allmälig wachſen und ſich verdicken, ſo eine Reihe darſtellen, welche mit S_1 S_2 S_3 bezeichnet werden kann. In der Figur 448 wurden für je ein gewähltes Datum, 20. Mai, 4. u. 20. Juni, 4. u. 19. Juli, 18. Auguſt, 3., 10., 17. u. 25. September die Querſchnittsareale gemeſſen und in der beſagten Figur dargeſtellt. *Sa* bedeutet eine ältere, *Si* eine jüngſt angelegte Holzzelle in dem lockeren Theil des Jahrringes, W_1 W_2 u. ſ. f. die von der abſoluten Wintergrenze abgezählten, zuletzt entſtehenden Holzzellen. Im Allgemeinen ſinkt in der Kette das Lumen, während die Wanddicke der Holzzellen wächſt, vom Beginn des Mai bis Ende September.

Hierbei iſt indeß zu beachten, wie auch aus der Curvenſchaar im VII. Abſchnitt § 32 E Fig. 317 zu erſehen iſt, daß zuerſt eine Auflockerung der Zellen ſtattfindet, ehe die Maſſenzunahme ihr Maximum erreicht. Die Maſſencurve als Function der Zeit, für ganz dünne Zuwachsſchalen dargeſtellt, hat demgemäß zuerſt ein Maximum unmittelbar nach der Anlegung der Zellwände in der Cambiumzone, ſodann erreicht ſie ein abſolutes Minimum durch die Auflockerung, um erſt zuletzt das abſolute Maximum zu erreichen.

Der zweite Weg, die Vorgänge der Translocation zu ſtudiren, iſt durch die organiſche Chemie und die mikroſkopiſche Analyſe vorgezeichnet. Durch mikrochemiſche Reactionen ſind indeß bis jetzt nur wenige Körper, welche aus Pflanzentheilen hergeſtellt wurden, in den Geweben direct nachweisbar. Es beruht dieß zum Theil darin, daß dieſelben in der Zelle nur in minimalen Mengen vertheilt vorkommen. Wir ſtellen uns hier die Aufgabe, über die Vertheilung der wichtigeren Körper Aufſchluß zu geben, und bringen die ſämmtlichen Körper in zwei Gruppen. Die erſte Gruppe enthält alle Verbindungen, von welchen mit Beſtimmtheit angenommen werden muß, daß ſie zum Aufbau der Pflanze eine Rolle ſpielen oder zur Athmung verbraucht werden (Nährkörper). Die zweite Gruppe enthält diejenigen, welche

als Ausfcheidungsproducte, Secrete, betrachtet werden müffen und diejenigen, von welchen eine Bedeutung im Sinne der erften Gruppe bis jetzt nicht bekannt ift.

I. Gruppe: Nährmittel[1]).

Wir können die Nährmittel zunächft eintheilen in ftickftofffreie und ftickftoffhaltige. Diefe Eintheilung ift eine künftliche, infofern jedenfalls bei der Neubildung affimilirter Rohnährkörper in dem Blatte zunächft eine ftickftoffhaltige Subftanz fich bildet, aus welcher fich die ftickftofffreien Körper abfpalten. Wir denken uns eben das Protoplasma als den wefentlichen Theil im Leben der chlorophyllhaltigen Zelle, welcher gerade fo wie die Plasmodien der niederen Protiften zuerft feine Maffe vermehrt, ehe er zur Ausfcheidung der allein aus *C, H, O* beftehenden Verbindungen fchreitet.

Nährkörper aus *C, H, O* zufammengefetzt.

Hierhin gehören:
1⁰ die Kohlehydrate;
2⁰ die organifchen Säuren;
3⁰ die Fette und die fetten Oele.

1. Kohlehydrate.

Diefe Verbindungen enthalten ein Atom Kohlenftoff mit der Gruppe Wafferftoff und Sauerftoff fo verbunden, wie im Waffer. Die allgemeine Formel der Kohlehydrate ift $C_mH_{2n}O_n$. Die Formel, welche für die Bildung eines Kohlehydrates aufgeftellt werden kann, ift diefe:

$$_mCO_2 + {}_nH_2O = C_mH_{2n}O_n + 2_mO.$$

[1]) TH. HARTIG, Ueber den Bau des Stärkemehls. Bot. Ztg. 55. S. 905. — Prof. Dr. SCHENK, Ueber formlofe Stärke. 497. 555. Bot. Ztg. 57. — SANIO, Unterfuchungen über die im Winter Stärke führenden Zellen des Holzkörpers dicotyler Holzgewächfe. 1858. Halle. — Dr. TH. HARTIG, Ueber den Zucker und über einen, dem Salicin ähnlichen Körper aus den Cambialfäften der Nadelhölzer. 413. Bot. Ztg. 63. — Dr. J. SACHS, Ueber die Sphärokryftalle des Inulins und deffen mikrofkopifche Nachweifung in den Zellen. 77. 85. Bot. Ztg. 64. — Dr. A. WEISS und Dr. JUL. WIESNER, Ueber die Einwirkung der Chromfäure auf Stärke. 97. Bot. Ztg. 66. — Dr. A. FAMINTZIN und J. BORODIN, Ueber transitorifche Stärkebildung bei der Birke. 385. Bot. Ztg. 67. — G. KRAUS, Einige Beobachtungen über den Einfluß des Lichts und der Wärme auf die Stärkeerzeugung im Chlorophyll. PRINGSH. Jahrb. Bd. VII. S. 511. 1869—70. — G. BRIOSI, Ueber normale Bildung von fettartiger Subftanz im Chlorophyll. 529. 545. Bot. Ztg. 72. Ueber allgem. Vorkommen von Stärke in den Siebröhren. 305. 321. 337. Bot. Ztg. 73. — J. SACHS, Ueber die Stoffe, welche das Material zum Wachsthum der Zellhäute liefern. PRINGSH. Jahrb. Bd. III. S. 183. 1863. — G. KRAUS, Ueber eigenthümliche Sphärokryftalle in der Epidermis von Cocculus laurifolius. PRINGSH. Jahrb. Bd. VIII. S. 421.

Nehmen wir an, es entſtehe durch die Aſſimilation Zucker, ſo erhalten wir:

$$12CO_2 + 11H_2O = C_{12}H_{22}O_{11} + 22O$$

Kohlensäure. Waſſer. Zucker. freier Sauerſtoff.

a) Stärke (Amylum) (ſ. oben § 16 A B C).

Die Stärke tritt faſt inſtantan nach der Beleuchtung im vorher leeren Chlorophyllkörper der höheren Pflanze auf.

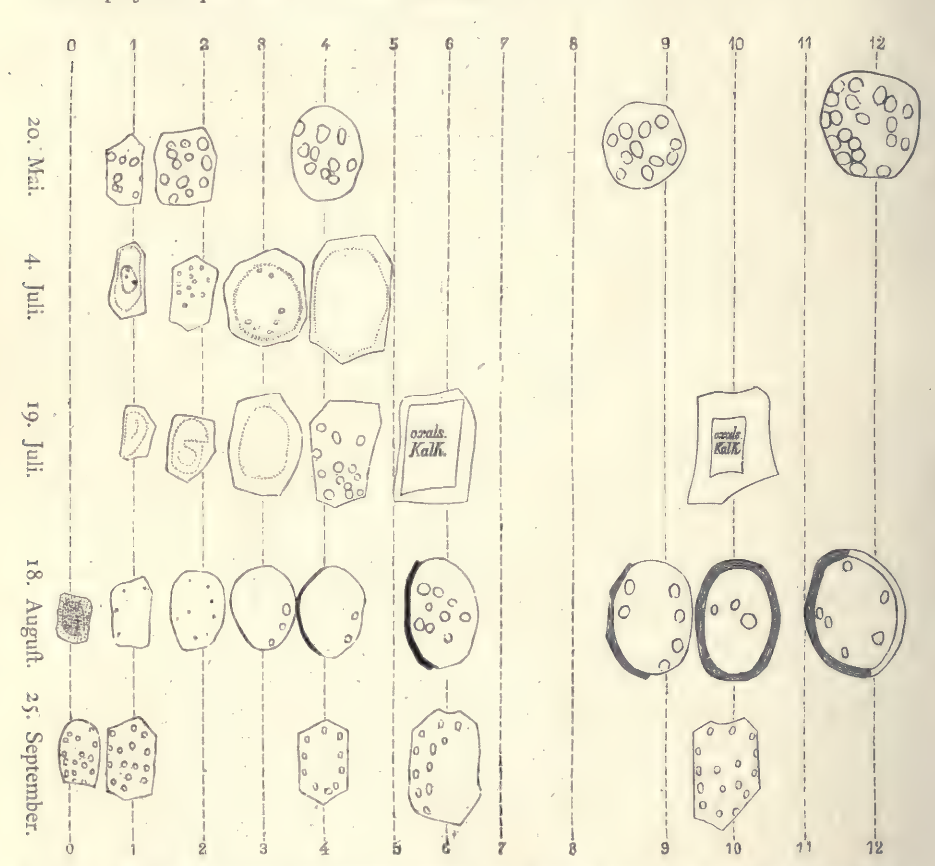


Fig. 449. Dieſe Figur entſpricht einer genauen Aufnahme der ſtärke- und zuckerführenden Zellen in der Fichtenrinde. *0* bis *12* in der Horizontalrichtung ſind die von der Cambialzone gerechneten Zellen dieſer Art. In der Verticalrichtung ſtellt die erſte Reihe den Zuſtand am 20. Mai, die zweite am 4. Juli, die dritte am 19. Juli, die fünfte am 18. Auguſt, die ſechſte am 25. September dar.

Die Gewebe, in welchen das Stärkemehl wandert, reagiren ſauer. Die Stärke wird durch verdünnte Säuren in Traubenzucker umgewandelt. Im kleinſten Volumelement ſolcher Gewebe, welche ſtärkegefüllt ſind, wie die Kartoffelknolle z. B., wird das Stärkemehl, wenn neue Sproſſe ernährt

werden, zuerſt in denjenigen Orten des Grundgewebes reſorbirt und dislocirt, welche von den Gefäßbündeln am weiteſten entfernt ſind. Das Stärkemehl verſchwindet bei der endlichen Erſchöpfung der Knolle zuletzt in der Nähe der Gefäßbündel. Wir betrachten zuerſt die Translocation der Stärke von der Baumkrone nach den tiefer belegenen Schafttheilen, ein Vorgang, der durch die genauen Meſſungen überſichtlich wird, welche in Figur 449 dargeſtellt ſind.

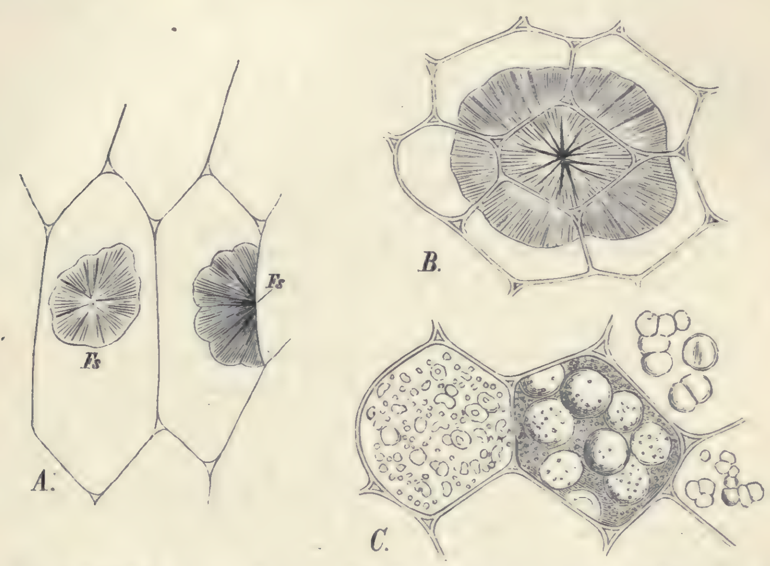


FIG. 450. *A.* Inulinſphäroide aus dem Stamm von Helianthus tuberoſus in concentrirtem Alkohol. In der einen Zelle iſt das Sphäroid wandſtändig und ſeitlich an der Wand abgeplattet. *B.* Inulinſphäroid in dem Rhizom von Inula Helenium. Dasſelbe hat ſich in ſechs Zellen gleichmäßig ausgebildet. Eine von dieſen central, die fünf andern im Kreis um die erſtere gelagert. *C.* Helianthus tuberoſus. Markzellen, welche Inulin führen. (SACHS, Bot. Ztg. 1864 Nr. 12, 13.)

Fig. 449 ſtellt in der Reihe 0 bis 12 die aufeinanderfolgenden Ringe der Stärke und Zucker führenden Baſtparenchymzellen dar. Dieſe Horizontalreihen ſind von oben nach unten am 20. Mai, 4. u. 19. Juli, 18. Auguſt und 25. September dargeſtellt. Vom 20. Mai ab nimmt die Zahl und Größe ab, am 4. Juli iſt die Rinde ſtärkeleer. Die Ueberreſte der Celluloſeſkelette ſind jetzt noch nachweisbar. Am 19. Juli tritt zuerſt der oxalſaure Kalk auf, noch ehe Stärke nachweisbar iſt; von jetzt ab treten wechſelnd Stärkekörner auf und verſchwinden wieder, bis gegen den 25. September die Anhäufung eine dauernde wird.

Aus den mikroſkopiſchen Aufnahmen konnten genaue Volumberechnungen ausgeführt werden; auf 1000 cmm wurde das Volum in den aufeinanderfolgenden Zeitregionen beſtimmt.

Die erſte Zeitregion vom 20. Mai bis Anfang Juni ergiebt in der

innersten Zelle 1, Fig. 449, 80 cmm auf 1000 cmm der Rinde, in der zweiten 140, in der dreizehnten 279 cmm.

Vierzehn Tage später schon sind in Zelle 1 nur 43, in der 10. Zelle 158 cmm enthalten.

Die zweite Zeitregion können wir rechnen vom 20. Juni bis 19. Juli. Das Wesen dieser Periode läßt sich kurz so definiren:

Das Stärkereservoir ist verbraucht, von jetzt ist der Consum in der Grenzzone so stark, daß es gar nicht mehr zur Bildung der Niederschlagskörper kommt.

Die dritte Region vom 19. Juli bis 18. August zeigt zuerst wieder Niederschlagskörper, welche in der Grenzzone äußerst kleine Kugeln bilden, in der mittleren Zone selbst noch zur vollen Resorption kommen können. Der laufendjährige Zuwachs, Fig. 317 bei der Fichte, wird jetzt verstärkt.

In der nachfolgenden Tabelle ist das Volum in den Zellen 0 bis 12 noch dargestellt für die Daten *h, i, k, l,* welche 14tägige Intervalle von Ende August ab enthalten.

Gesammtvolum der Stärke in cmm auf 1000 cmm der Rinde.

Zelle.	*h*	*i*	*k*	*l*
0	13	9,4	16	55
1				54
1				
4				41
5	35			
6				37
7			38	
9		57		
10				66
12	93			

Die Messungen, welche in der Fig. 449 graphisch dargestellt sind, wurden durch den ganzen Winter fortgesetzt an der Fichte, der Buche und der Eiche. Für die vierte Zeitregion läßt sich aus denselben das folgende Resultat angeben:

Gegen Ende des November ist die Rinde aller untersuchten Bäume stärkeleer, da dieselbe vollständig von den Zellen des Holzkörpers aufgenommen ist; während der Monate December,

Januar bis Anfang Februar (wohl auch Februar und März bei ftarkem Froft) verharrt die Stärke im Holz, um von da ab durch die Rinde ihre centrifugale Bewegung zu beginnen.

In einer mittleren Stärkezelle der Fichtenrinde find die Volume auf die Stärkekörner, wie nachfolgend verzeichnet ift, vertheilt:

erfte	Zeitregion (a)	121	Volumeinheiten	auf	10	Körper,
zweite	»	0	»	»	0	»
dritte	»	8	»	»	2	»
vierte	»	41	»	»	10	».

Daraus erhellt: An einem beftimmten Orte in der Nähe des Cambiums wird ein Theilchen des plaftifchen Materials dann noch befchleunigt dadurch, daß 10 Niederfchlagskörper, welche aus dem Material beftehen, von dem Volum 8 nach dem Volum 41, refp. von 41 auf das Volum 121 heranwachfen wollen — wenn felbft in der Grenzzone der Zuwachs erlofchen ift, alfo in dem Zeitraum September bis Mai.

b) Inulin.

Das Inulin ift identifch in der Zufammenfetzung mit dem Amylum. Es kommt in der Pflanze gelöft vor, wohl in den höheren Pflanzen allgemein verbreitet, am reichlichften in dem Grundgewebe der Rhizome und Wurzel der Compofiten (Dahlia, Inula u. a. m.), fchlägt fich in Alkohol in charakteriftifchen, ftarklichtbrechenden Sphäroïden nieder, Fig. 450.

Das Inulin ift in vielen Pflanzen im Grundgewebe in geringer Menge vorhanden, fo namentlich in den Rinden der Bäume.

c) Rohrzucker $C_{12}H_{22}O_{11}$.

In der Pflanze immer gelöft, diffundirt im Grundgewebe, kryftallifirt in monoklinen Säulen, in Alkohol wenig löslich. Der Rohrzucker reducirt die Kupferoxydfalze nicht, bildet aber beim Kochen mit KOH, bei Gegenwart von Weinfäure, mit denfelben bafifche lafurblaue Kupferfalze. Der Rohrzucker kommt in den Baumfäften, Birke, Ahorn, in den faftigen Theilen der Früchte, der Runkelrübe u. a. m. vor. Charakteriftifche Verbindungen entftehen mit Kali und Kalkfalzen, z. B.:

$$C_{12}H_{22}O_{11}K_2O \text{ und } C_{12}H_{22}O_{11}CaO.$$

d) Traubenzucker, Glucofe $C_6H_{12}O_6$.

In der Pflanze ift der Traubenzucker gelöft, diffundirt in denfelben Geweben vorzugsweife in den Früchten, Trauben, auch im Honig. In Alkohol löslich. Der Traubenzucker reducirt Kupferoxydfalze bei Gegenwart von

Kali und Weinſäure beim Kochen zu Kupferoxydul. Er beſitzt charakteriſtiſche Verbindungen mit Baryt, Bleioxyd und mit Kochſalz

$$\left(\begin{array}{c} (2C_6H_{12}O_6)2\ NaCl + H_2O \\ \text{cryſtalliſirt,} \end{array} \right)$$

auch mit organiſchen Säuren. Der Traubenzucker kann aus Celluloſe und Amylum unter Einwirkung von Säuren hergeſtellt werden.

Der Traubenzucker wird unter dem Einfluß der ſpecifiſchen Gährungserreger in drei verſchiedene Gährungen übergeführt, die Alkohol-, Butterſäure- und Milchſäuregährung:
bei der Alkoholgährung entſteht Alkohol und Kohlenſäure[1]),

$$C_6H_{12}O_6 = 2(C_4H_{12}O_2) + 2CO_2,$$

bei der Butterſäuregährung wird Kohlenſäure und Waſſerſtoff entbunden[2]),

$$C_6H_{12}O_6 = C_4H_8O_2 + 2CO_2 + 4H,$$

bei der Milchſäuregährung findet eine moleculare Umlagerung ohne Gasentbindung ſtatt,

$$C_6H_{12}O_6 = 2(C_3H_6O_3).$$

Die Löſung des Traubenzuckers dreht die Polariſationsebene nach rechts.

Der Fruchtzucker (neben dem Traubenzucker im Honig) in den Früchten der Amygdaleen, Pomaceen u. a. m. iſt linksdrehend.

Melezitoſe $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$ aus dem Manna der Lärche im ſüdlichen Frankreich gewonnen. Melitoſe $C_{12}H_{22}O_{11} + 3H_2O$ aus dem Manna des Eucalyptus (Auſtralien). Synanthroſe $C_{12}H_{22} + H_2O$ in den Dahlienknollen.

e) Gummiarten (ſ. früher § 15, S. 95).

Die Gummiarten ſind jedenfalls aus der Umwandlung von Celluloſe oder doch ſolchen Körpern entſtanden, welche in der Zellhaut urſprünglich feſt waren, ſie quellen (Traganth) oder löſen ſich in Waſſer, ſind in Alkohol, ätheriſchen Oelen unlöslich. In der ſchleimiſchen Löſung dieſer Körper ſind zuweilen Oele, Eſſenzen, Haare emulgirt:

1⁰ das arabiſche Gummi der Acacien Nordafrika's iſt eine Verbindung der Kalk- und Kaliſalze mit der Arabinſäure $(C_6H_{10}O_5) + {}^1/_2H_2O$, welche durch die Einwirkung anderer Säuren abgeſchieden werden kann. Die Entſtehung desſelben im hiſtologiſchen Sinne iſt noch nicht unterſucht. Die Löſung iſt linksdrehend;

2⁰ Baſſorin im Traganthgummi (ſ. oben S. 95, Fig. 113) quillt in Waſſer, filtrirt nicht, diffundirt nicht durch Membranen;

---

[1]) Glycerin und Bernſteinſäure, ſ. im Abſchnitt Gährung weiter unten.

[2]) Im gährenden Johannisbrod (Siliqua dulcis).

3⁰ die Schleime der Quitten-, der Leim-, der Cruciferensamen entstehen durch Quellung der Zellhäute (s. oben S. 97);

4⁰ in dem Grundgewebe der Cereusarten befinden sich größere Zellen (Schleimzellen), in Alkohol wird der Schleim fest und zeigt deutlichst die Schichtung, welche den Membranen eigen ist. Aehnliche Zellen kommen vor in den Orchisknollen (Salepschleim);

5⁰ Dextrin entsteht durch Erhitzen des Amylum in Wasser bei Gegenwart von Säuren. Geht zuletzt in Traubenzucker über. Die Lösung des Dextrin ist rechtsdrehend.

2. Fette und fette Oele.

Die Fette und fetten Oele sind chemische Verbindungen der höheren Fettsäuren mit Glycerin,

so die Laurinsäure $C_{12}H_{24}O_2$ im Fette der Cotyledonen bei den Laurineen, die Myristinsäure $C_{14}H_{28}O_2$ im Samen der Myristica,

Palmitinsäure $C_{16}H_{32}O_2$, Stearinsäure $C_{18}H_{36}O_2$ in allen Fetten und fetten Oelen,

Arachinsäure $C_{20}H_{40}O_2$ im Samen der Arachis hypogæa.

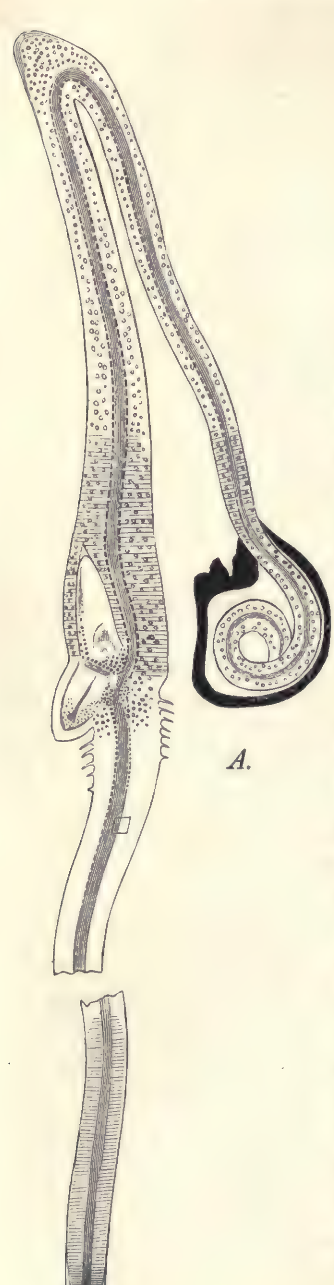
Diese Säuren sind fest, das Glycerin ist flüssig, die Verbindung im Fett oder Oel ist flüssig oder fest, je nach der Temperatur. Die Fette und Oele kommen in der Pflanze mit Protoplasma emulgirt vor, sie finden sich in allen Chlorophyllkörpern und sind dort jedenfalls das Lösungsmittel für das Pigment. Sie werden vorzugsweise gehäuft in den Samen (Coniferen, Cruciferen, Buche, Hasel u. a. m.), sind aber nicht für nahe Verwandtschaftskreise specifisch, z. B. hat die Buche einen Oelsamen, die Eiche einen Mehlsamen. Bei der Keimung der Oelsamen, so z. B. der Buche und der Nadelhölzer, tritt schon nach wenigen Tagen transitorische Stärke auf, welche sehr bald in den Keimtheilen vorwiegt, während das fette Oel verschwindet.

Bei der Keimung von Allium Cepa, dessen sämmtliche Keimtheile ursprünglich nur fettes Oel oder Fett enthalten, Fig. 451, bilden sich nach einiger Zeit Zucker, Stärke, Proteïnkörper, welche mit Hilfe der früher angegebenen Reactionen nachgewiesen werden können. Die Cotyledonen enthalten vorzugsweise das Fett, Zucker befindet sich in dem Grundgewebe in der Nähe der Gefäßbündel. In der Nähe der Wurzelknospe, in der Wurzelhaube und in der Nähe der Stammknospe tritt zuerst transitorische Stärke auf, die Proteïnsubstanzen treten reichlicher in den Leitzellen der Gefäßbündel auf.

Der Vorgang der Entstehung eines Fettes bei der Assimilation ist durch diese Formel veranschaulicht:

$$_mCO_2 + {}_nH_2O = C_mH_{2n}O_{n-o} + 2(m+o)O,$$

(wo $2m + o$ größer als $2m$, m und o ganze Anzahlen von Atomen bedeuten).



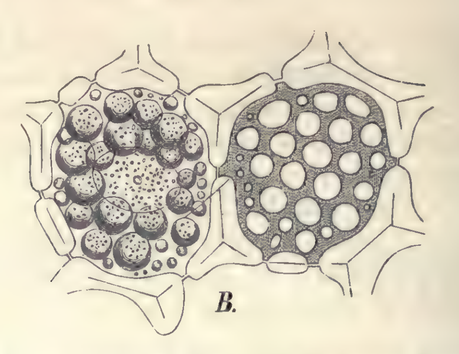


Fig. 451. *A.* Keimling von Allium Cepa in vorgerückter Keimphaſe, der Cotyledon iſt noch in dem Endoſperm und der Samenſchale mit ſeiner Spitze eingeſchloſſen. Eine abgebrochen gezeichnete Wurzel hat ſich entwickelt. Eine zweite iſt angelegt. Die Plumula iſt noch von dem Cotyledon eingeſchloſſen. Die Körper, welche die Ernährung beſorgen, ſind ſo vertheilt: in der Wurzelhaube Stärkemehl, in dem ſchrafſirten Theil der Wurzel, welcher in Streckung befindlich iſt, vorzugsweiſe Zucker, in dem Gefäßbündel die eiweißartige Subſtanz, in dem Cotyledon Fett, in der Nähe der Plumula in der Wurzelanlage Stärke. *B.* Zellen des Endoſperm. In der Mitte der Zellkern. Die Zelle iſt mit Fettkörpern erfüllt, welche in der körnigen Subſtanz des Plasma eingebettet ſind; rechts eine Zelle, in welcher die Fettkörper im Durchſchnitt dargeſtellt ſind (nach Sachs, Bot. Ztg. 1863).

3. Proteïnkörper (Albumine).

Dieſe für die Ernährung wichtigſten Körper ſind chemiſch am wenigſten gekannt. Sie kommen flüſſig, zum Theil gelöſt im wäſſerigen Safte der Pflanzen, zum Theil von dem Waſſer des Zellinhaltes differenzirt im Protoplasma vor, endlich werden ſie in Niederſchlagskörpern in den Samen und Früchten, in der Rinde der Bäume, in den Knollen mancher Pflanzen abgeſchieden.

Die geformten feſten Niederſchlagskörper (Aleuron) ſind Gemiſche von Fett und Eiweiß, erſteres wird unter Zerfall der charakteriſtiſchen Form aus dem kryſtallähnlichen Körper gelöſt, Fig. 452. Die Aleuronkörper kommen vor bei den Acetabularien, in den Schalen der Aepfel, der Kartoffel, in den Samen von Ricinus, Sparganium, Bertholletia (Paranuß), Figur 452.

Die Proteïnkörper gerinnen bei der Behandlung mit Salzlöſungen und Säuren, ſie gehen mit Metallſalzen unlösliche Verbindungen ein.

Das Pflanzeneiweiß gerinnt wie das thieriſche bei Temperaturen von 60 bis 70° C. Es iſt unlöslich in Alkohol und Aether, bei Behandlung mit dieſen verliert es Waſſer. Die Maſſe ſchrumpft zuſammen. Die Proteïnkörper werden aber in Kalilauge gelöſt zu einer gelben Flüſſigkeit.

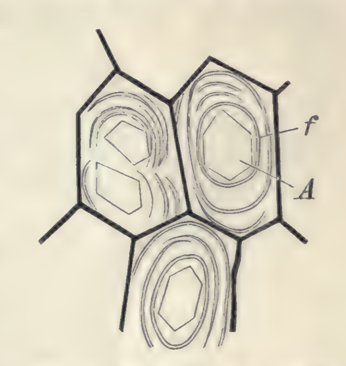


Fig. 452. Bertholletia excelſa, Aleuronkryſtalle im Endoſpermgewebe des Samens. *f* Fettſchichten um den Kryſtall *A*, welche in Aether ſich auflöſen.

In der Pflanze wandern die Proteïnkörper vorzugsweiſe in den Leitzellen (Siebröhren, Gitterzellen) des Cambiforms der Rinde in unſeren Bäumen, die Reaction des Saftes in dieſen Zellen iſt eine alkaliſche.

Die chemiſche Conſtitution der Proteïnkörper iſt ſo gut wie nicht bekannt, wahrſcheinlich aber iſt das pflanzliche Protoplasma, in welchem dieſe Körper vorkommen, eine gepaarte Verbindung einer flüſſigen Celluloſeart mit in Waſſer löslichem Eiweiß. Die chemiſche Analyſe der Albumine ergiebt gegen 55% Kohlenſtoff, gegen 7% Waſſerſtoff, 16% Stickſtoff, gegen 24% Sauerſtoff und bis zu 2% Schwefel.

Als mikrochemiſche Reactionen werden angeſehen: die Behandlung mit Jod. Das Protoplasma färbt ſich braun. Mit concentrirter Schwefelſäure wird eine roſenrothe Färbung erzielt. Desgleichen mit dem Millon'ſchen Salz (Salpeterſaures Queckſilberoxydul).

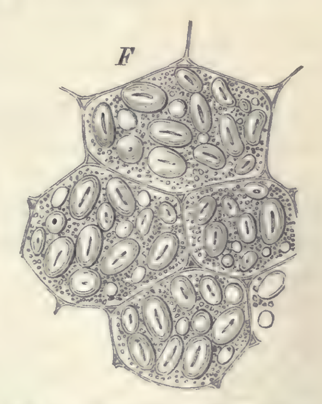


Fig. 453. Vicia ſativa. Kleine Parthie aus dem Gewebe der Cotyledonen. Die größeren Körper ſind Amylum. Die feinkörnige Subſtanz iſt Protoplasma.

In den Keimtheilen, dem Gewebe des Endoſperms und Periſperms der Samen ſind die Proteïnkörper vorzugsweiſe angehäuft, Fig. 452.

Die Leguminoſen führen in dem Grundgewebe ihrer Cotyledonen, Fig. 453, Proteïnkörper und Stärkemehl, ſo die Erbſen, Bohnen, Linſen, während die fetten Oele und Fette zurücktreten. Hier iſt die Umwandlung in Zucker auf die Zerſetzung von Stärkemehl baſirt. Die Stärke und der Proteïnkörper wandern von Zelle zu Zelle in den wachſenden Keimtheilen.

Die flüſſigen Proteïnkörper, die Kohlehydrate, Zucker, Inulin u. ſ. f. beſitzen alle ein großes Moleculargewicht, ſie diffundiren alle äußerſt langſam oder gar nicht durch fertige Pflanzenmembranen oder künſtliche Häute oder thieriſche Blaſe. Die flüſſigen Fette werden wahrſcheinlich zum Theil durch Imbibition oder Durchtränkung in den Wänden fortgeleitet. Dieſer

Vorgang ift jedenfalls ein Diffufionsvorgang im weiteren Sinne, wiewohl diefe Körper keine fpecififchen Anziehungskräfte zu dem wäfferigen Safte noch zu dem Imbibitionswaffer der Zellmembranen befitzen. Die transitorifche Stärke wandert jedenfalls nicht als folche, fondern wird in Zucker

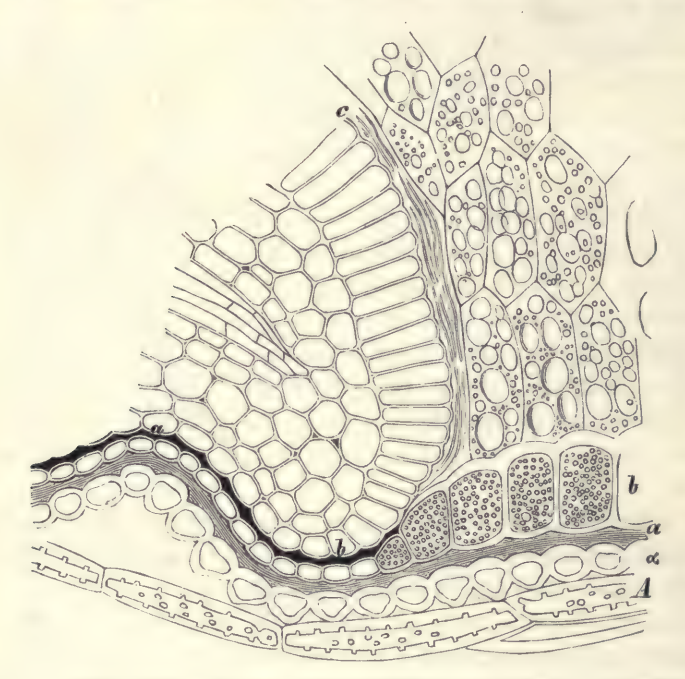


Fig. 454. Triticum vulgare. Die obere Spitze des Schildchens am Keimling *a b c* das auffaugende Epithel an demfelben. *A α a* die Zellenfchichten der Fruchthaut, rechts von *c* liegen die Streifen, welche den collabirten Häuten der Endofpermzellen entfprechen.

umgewandelt. Bemerkenswerth bleibt immerhin der Umftand, daß alle diefe Körper bei der Keimung verhältnißmäßig rafch dislocirt werden. Die Keimung der Getreide (man beachte Fig. 454, 455) verläuft fo, daß die Wurzel zuerft, die Endofpermumhüllung und die Samenfchale durchbrechend, fich ftreckt. Es folgt die Keimaxe und zuletzt der Cotyledon, man fehe auch Fig. 451. Der Aufwand an plaftifchem Material für die Streckung diefer Theile wird bei allen Endofperm- und Perifperm- haltigen Samen aus den Nährftoffen gedeckt, welche in diefen Geweben angefammelt waren. Bei den Schließfrüchten der Gräfer wird felbft das Material herbeigezogen, welches in dem Gewebe des Fruchtknotens abgelagert ift.

Diefe Translocation vollzieht fich durch ein eigenthümlich geftaltetes Epithel am Schildchen (Fig. 454 *c b* die geftreckten Zellen). Zur Zeit der Keimung lockern fich diefe Zellen, Fig. 456, auf, fie nehmen in erfter Linie die Proteïne und den Zucker des Endofperms und übermitteln diefe Körper

in innere Gewebe des Keimlings, deſſen Oberhaut ſie endlich am ausgetretenen Keimling an der Stelle der am längſten im Samen verharrenden Cotyledonen ſchließen.

Dieſes auffaugende Epithel kommt wohl allen den Pflanzen zu, deren Ernährungsverhältniſſe in der Keimphaſe die gleichen ſind (Fig. 456 *Ep*). Bei der Dattel und vielen andern Palmenſamen iſt das Endoſperm von der Textur des Elfenbeins außerordentlich hart, elaſtiſch mit ſtark verdickten Wänden, welche mit zahlreichen Porengängen verſehen ſind, *Ws* Fig. 456. In dem Maß wie die Keimtheile, welche in der Figur 456 jenſeits des Epithels *Ep* liegen, ſich ſtrecken und ihre Zellen durch Theilung vermehren, wird die Translocation der Nährkörper durch die Zellenſchalen *Ep* unterhalten und ſelbſt ein Theil der Zellwände des Endoſperms reſorbirt, ſo daß deſſen Zellen in der Grenzſchicht collabirt erſcheinen, *Pz* Fig. 456[1]).

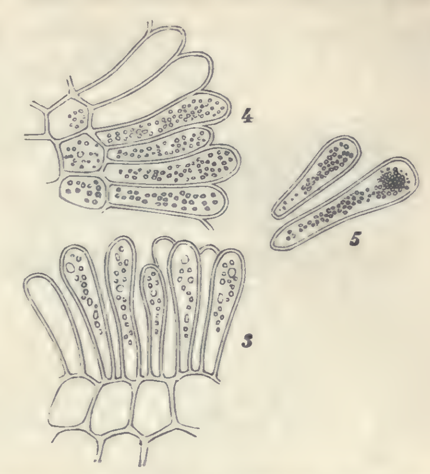


Fig. 455. Epithelzellen der Graskeimlinge zur Zeit der Keimung (nach Sachs, Bot. Ztg. 1862, Keimungsgeſchichte der Dattel und Grasfrüchte).

II. Gruppe: Secrete.

1. Harze, Gummiharze, Essenzen[2]). (Terbene, Camphene.)

Was zunächſt die Verbreitung dieſer Körper angeht, ſo muß beachtet werden, daß ſie für gewiſſe Pflanzenfamilien, z. B. Coniferen, Terebinthaceen, Umbelliferen, Araliaceen, charakteriſtiſche Secrete ſind, welche endlich in Intercellularräume des Holzes der Rinde abfließen, oder ſie ſind in den Zellen der Gewebe vertheilt, z. Th. emulgirt, z. Th. in größeren Maſſen

[1]) Hartig, Ueber das Klebermehl. Bot. Ztg. 55. S. 881. — Badlkofer, Ueber Kryſtalle proteïnartiger Körper pflanzlichen und thieriſchen Urſprungs. 1850. Leipzig. W. Engelmann. — Dr. J. Sachs, Ueber ſaure, alkaliſche und neutrale Reaction der Säfte lebender Pflanzenzellen. 257. Bot. Ztg. 62. Zur Keimungsgeſchichte der Gräſer. 145. Bot. Ztg. 62. Ueber die Keimung des Samens von Allium Cepa. S. 57. 65. Bot. Ztg. 63. — Dr. Th. Hartig, Ueber die Thätigkeit des Siebfaſergewebes bei Rückleitung der Bildungsſäfte. 287. Bot. Ztg. 63. — Fr. Schreiber, Entwickelungsgeſchichte der Siebröhren und Verbreitung derſelben im Pflanzenreich. 321. Bot. Ztg. 64. — W. Pfeffer, Unterſuchungen über die Proteïnkörner und die Bedeutung des Aſparagins beim Keimen der Samen. Pringsh. Jahrb. Bd. VIII. S. 429.

[2]) A. Vogl, Ueber den Bau des Holzes von Ferreira ſpectabilis und die Bildungsweiſe des ſogenannten Angelin-pedra-Harzes. Pringsh. Jahrb. Bd. IX. S. 277.

angeſammelt, z. B. Laurineen, Labiaten u. a. m., oder ſie ſind im alten Stammholz imbibirt. Bei keinem der genannten Körper drückt der Name, inſofern die moleculare Conſtitution in Betracht kommt, einen chemiſchen Begriff aus. Einige Eſſenzen ſind Kohlenwaſſerſtoffe, andere Spaltungsproducte aus Glucoſiden. Die Gummiharze ſind wechſelnde Gemenge von Pflanzenſchleim (vielleicht Derivate der Celluloſe), welcher in Waſſer quillt, mit Harzen und ätheriſchen Oelen, welche in Waſſer faſt unlöslich ſind.

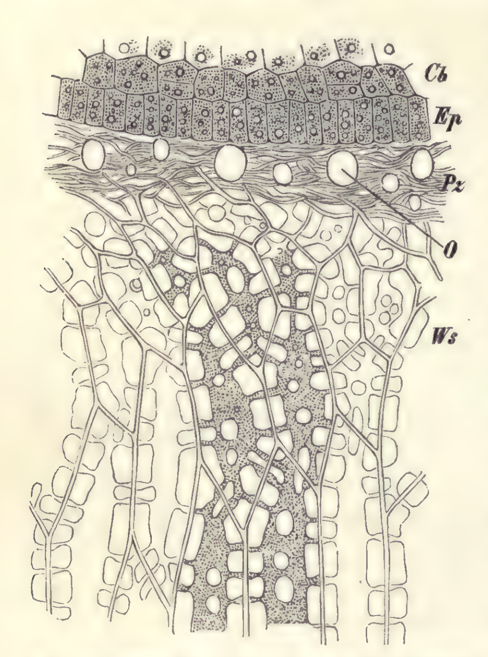


Fig. 456. Kleine Querſchnittsparthie aus dem Saugorgan des Dattelkeimes, welches mit dem hornigen Endoſperm des Dattelſamens in Verbindung bleibt, nachdem der Keimling ausgetreten iſt. *Ws* die erweichte Schicht des Endoſperms. *Ep* die Epithelzellen des Keimes. *Cb* die in Theilung begriffenen Zellen unter dem Epithel des Keimes. *O* Oeltropfen. *Pz* die ausgeſogenen und collabirten Zellhäute in der Grenze des Endoſperms.

a) Harze in Eſſenzen oder flüchtigen Kohlenwaſſerſtoffen gelöſt (Balſame);

α) in Intercellularräume abgeſchieden bei den Abietineen, Juniperineen, Cupreſſineen (Sandarac u. a. m.), Umbelliferen (Olibanum), Compoſiten (Arnica, Artemiſia) und Verwandten;

β) zum Theil emulgirt in Intercellularräume abgeſchieden: Terebinthaceen.

b) Harze mit Gummi oder Schleim emulgirt, in Intercellularräume abgeſchieden: Umbelliferen (Ferula und alle gummiharzabſondernde Umbelliferen: Galbanum, Opoponax u. a. m.);

γ) Gummiharze von unbekannter hiſtologiſcher Vertheilung ſind: Myrrha (Balſamodendron), Benzoë (Styrax, Benzoïn);

c) Harze im Zellſaft in größeren ſtarklichtbrechenden Tropfen. Hierher gehört das Jalappaharz im Wurzelkörper des Convolvulus Schiedeanus. Im Weingeiſtauszug befindet ſich ein Glucoſid, das Convolvulin, welches ſich mit Säure in Convolvulinöl und Zucker zerſetzt;

d) Harze im Holz imbibirt. Alle Harze werden mehr oder weniger im Stammholz der harzführenden Bäume imbibirt. Beſonders reichlich wird aus dem Quajakholz (Quajacum officinale Jamaica) ein Harz extrahirt, welches zwei Säuren enthält: Quajacilſäure $C_6H_8O_3$ und Quajakharzſäure $C_{24}H_{26}O_4$;

e) Balſame, welche im Grundgewebe der Rinde vertheilt, nicht in

Intercellularräume abgeſchieden, wohl aber in einzelnen Zellen in größeren Mengen angeſammelt werden. Myroxylon peruiferum, ein Baum aus der Familie der Cæsalpinieen (Südamerika) und M. toluiferum enthalten aromatiſche Balſame, in welchen Zimmtſäure und Benzoëſäure, ſowie Aethylverbindungen dieſer Säuren gelöſt ſind. Solche Gemenge werden in geringer Menge in der Rinde abgeſchieden. Dahin gehören, in Bezug auf die Vertheilung, jedenfalls auch die Balſame von Copaifera und Liquidambar ſtyraciflua;

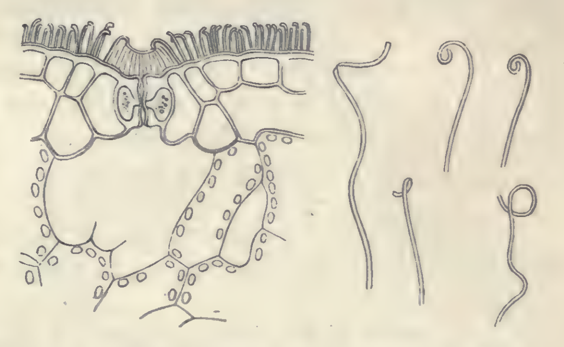


Fig. 457. Querſchnittsparthie von der Unterſeite des Blattes von Strelitzia ovata. Die Epidermis mit Wachsſtäbchen beſetzt. Daneben iſolirte Wachsſtäbchen vom Blatte der Heliconia farinoſa (nach de Bary, Bot. Ztg. 1871).

f) in Waſſer quellbare klare Secrete in Intercellularräume ausgeſchieden. Hierzu gehören die Secrete in der Rinde der Araliaceen, Tiliaceen und Cycadeen (ſ. § 25, S. 226).

2. Aetherische Oele, Essenzen.

Dieſe zum Theil auch chemiſch nicht genau gekannten Körper ſtimmen weder in ihrer Vertheilung noch in ihrer chemiſchen Conſtitution ſo überein, daß man ſie in mehrere, nach der Conſtitution definirte Gruppen zuſammenfaſſen könnte. Ihre Beziehung zur Ernährungsphyſiologie iſt unbekannt. Allgemeine Züge des Vorkommens ſind dieſe: Die ätheriſchen Oele entſtehen jedenfalls im Meſophyll des Blattes, diffundiren über die ganze Pflanze, verleihen dieſer ſpecifiſchen Geruch und Geſchmack:

a) in Secretionsbehälter abgeſchieden werden die Eſſenzen der Aurantiaceen, Hypericineen, Umbelliferen, Coniferen, Compoſiten, Rutaceen, z. Th. der Myrtaceen;

b) in allen Zellen der Pflanze mehr oder weniger reichlich vertheilt ohne Abſonderung in Intercellularräume ſind die Eſſenzen der Liliaceen, Labiaten, aller wohlriechenden Blumen, Laurineen (Kampfer).

Die Chemiker unterſcheiden in dieſer Gruppe von Körpern ſauerſtofffreie und ſauerſtoffhaltige ätheriſche Oele.

I. Sauerſtofffreie (Camphene, Terbene).

Terpentinöl $C_{10}H_{16}$. Dieſer Kohlenwaſſerſtoff wird durch Deſtillation aus dem Harz der Abietineen gewonnen, ſpecifiſches Gewicht 0,86, Siedepunkt 160° C., klare Flüſſigkeit, in Waſſer unlöslich (Ozonſammler).

Unter den Verbindungen des Terpentinöls ſind zu nennen: der Terpentinkampfer, kryſtalliniſch $C_{10}H_{20}O_2 + H_2O$, Terpentinölhydrat, $C_{10}H_{16} + H_2O$. Außerdem eine Verbindung mit ClH. Beim Kochen mit Salzſäure entſtehen verſchiedene Säuren: Eſſig-, Propion-, Butter-, Oxal-, Toluilſäure u. a. m.

Zu den Camphenen gehören die Eſſenzen der Aurantiaceen, Wachholderöl, Kampferöl u. a. m., welche aus den Harzen abdeſtillirt werden. Roſenöl, Eſſenzen aus Valeriana, Piper u. ſ. f.

II. Sauerſtoffhaltige ätheriſche Oele.

Gemenge von ſolchen unter I und ſauerſtoffhaltigen Oelen. Bei der Deſtillation über Kali gehen letztere in eine Säure über, erſtere deſtilliren unverändert.

Laurineen: Zimmtöl (Cinnamomum) in größeren Zellen der Rinde. Saſſafrasöl.

Umbelliferen: Cuminumöl (Cuminum Cyminum) im Schizocarp in Intercellularräume abgeſchieden. Fenchelöl (Fœniculum offic.); Kümmelöl (Carum carvi).

Zahlreiche ätheriſche Oele aus der Familie der Labiaten, der Compoſiten, der Myrtaceen.

3. Kampfer.

Dieſe flüchtigen Körper erstarren in kryſtalliniſchen Maſſen bei niederer Temperatur, ſie ſind in der Pflanze meiſt in ätheriſchen Oelen gelöſt. Der Laurineenkampfer (Laurus Camphora), in allen Theilen der Pflanze enthalten, wird durch Sublimation gewonnen. $C_{10}H_{16}O$ kryſtallähnliche farbloſe Maſſen. Bei 175° Schmelzpunkt, 205° Siedepunkt. Specifiſches Gewicht 0,985. (Zahlreiche Verbindungen, ſ. organiſche Chemie.) Der Kampfer iſt in der Rinde und den Blättern des in Treibhäuſern gezogenen Baumes nicht in Intercellularräumen abgeſchieden. Er iſt gelöſt im Kampferöl über alle parenchymatöſen Gewebe in feinen Tröpfchen vertheilt. Stearoptene von ähnlicher Beſchaffenheit finden ſich noch in den ätheriſchen Oelen vieler Compoſiten, im Geraniumöl, im Pfeffermünzöl u. a. m.

4. Schwefelhaltige ätherische Oele, Senföl.

In den Samen von Sinapis alba und anderen Cruciferen kommt das flüchtige Senföl vor. Das Allylſenföl C_4H_5NS iſt in den Senfſamen nicht fertig gebildet. Es entſteht durch Gährung des myronſauren Kalium, bei der Behandlung der Samen mit Waſſer unter dem Einfluß eines Fermentes des Myroſins der Chemiker. Hiebei zerfällt das myronſaure Kalium, dasſelbe kann ſich in Senföl, Zucker und doppeltſchwefelſaures Kalium zerſetzen.

Das Senföl wird destillirt. Die Senföle sind Verbindungen der Isosulfocyansäure mit verschiedenen Aethern, so das Methylsenföl $CSNCH_3$, Aethylensenföl $CSNC_2H_5$, Butylensenföl $CSNC_4H_9$ u. s. f. Das Senföl kann künstlich aus Allyljodid und sulfocyansaurem Kali dargestellt werden:

$$C_3H_5J + CSNK = CSNC_3H_5 + JK.$$

5. Wachs[1]).

Das Wachs findet sich in allen Epidermen und im Kork imbibirt, in den Pollen der Blüthenpflanzen, im Reif der Früchte, in den Drüsen der Birken in größeren Mengen abgeschieden. Das Wachs ist im chemischen Sinne ein Gemenge der Alkoholverbindungen mehrerer fester Fettsäuren. In Wasser unlöslich, fettige Textur, höherer Schmelzpunkt wie die gewöhnlichen Fette, löslich in Aether und ätherischen wie fetten Oelen und Fetten. Von DE BARY wurde der Reif der Epidermen der Früchte untersucht; das Wachs wird in zierlichen Schuppen und Fäden, welche in Aether löslich sind, Fig. 456, an den Epidermen abgeschieden.

Die Wachsarten sind Gemenge von Alkoholen und Aetherarten der höheren festen Fettsäuren mit freien Fettsäuren (Palmitinsäure, Cerotinsäure z. B.).

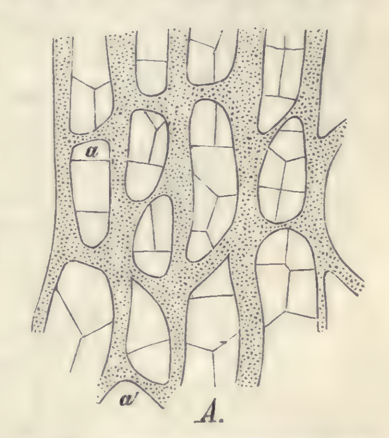


Fig. 458. Scorconera. Milchsaftanastomosen der Rinde. a a' die Anastomosen von einer zur anderen Röhre.

6. Milchsäfte[2]).

Die getrockneten Milchsäfte, welche zu technischer oder medicinischer Verwendung in den Handel kommen, sind zum Theil von den Chemikern zu den Harzsecreten gerechnet.

In unserem Sinne sind die Milchsäfte diejenigen Secrete, welche in ein System von Röhren abgeschieden werden. Diese communiciren miteinander im Innern der Rinde, des Markes, des Mesophylles, ähnlich dem capillaren Blutgefäßsystem. Die Milchsaftzellen entstehen ursprünglich als Zellenelemente des Bastes der Gefäßbündel. Sie wachsen aber

---

[1]) Dr. TH. HARTIG, Ein Stearopten aus Juniperus virginiana. Bot. Ztg. 53. S. 519. Beobachtungen über die Wachsüberzüge der Epidermis. 769. Bot. Ztg. 71. — A. DE BARY, Ueber die Wachsüberzüge der Epidermis. 128. 145. 161. 566. 573. 589. 605. Bot. Ztg. 71. — Dr. J. WIESNER, Ueber die krystallinische Beschaffenheit der geformten Wachsüberzüge pflanzlicher Oberhäute. 225. Bot. Ztg. 76.

[2]) Dr. A. WEISS und Dr. J. WIESNER, Beiträge zur Kenntniß der chemischen und physikalischen Natur des Milchsaftes der Pflanzen. 125. Bot. Ztg. 62.

während der Streckung der Organe, senden seitliche Zweige aus, welche endlich einmünden in benachbarte Milchsaftgefäße. So entsteht ein capillares Gefäßsystem, Fig. 458, 459, welches, unter dem Druck des expansiven Parenchyms stehend, seinen Inhalt aus einem kleinen Einschnitt nach außen ergießt. Der Milchsaft ist eine Emulsion von Kautschuk und harzartigen Körpern in Wasser, in welchem jedenfalls schleimige oder gummiartige Körper gelöst sind. Außer diesen enthält er die zum Theil giftigen Alkaloide, so bei den Euphorbiaceen, Papaveraceen, Strichneen, Apocyneen, Asklepiadeen, Convolvulaceen u. a. m. Auch die Hartharze, der Gummilack, Gummigutt der Urticaceen, Ficus indica, elastica und Isonandra gutta gehören hierher. Das Kautschuk und die Guttapercha entstehen dadurch, daß die emulgirten, in sehr feinen Tröpfchen vertheilten Massen dieser Körper an der Luft zusammenfließen. Die Milch gerinnt zu fadenziehenden Massen, welche geruch- und geschmacklos, zähelastisch, farblos (das in den Handel kommende ist durch Ruß geschwärzt), in Wasser, Alkohol, Aether unlöslich, löslich in Benzin, Chloroform, Terpentinöl und Theer sind. Es schmilzt bei 120° C. Geringe Mengen des Kautschuks kommen in allen Milchsäften vor.

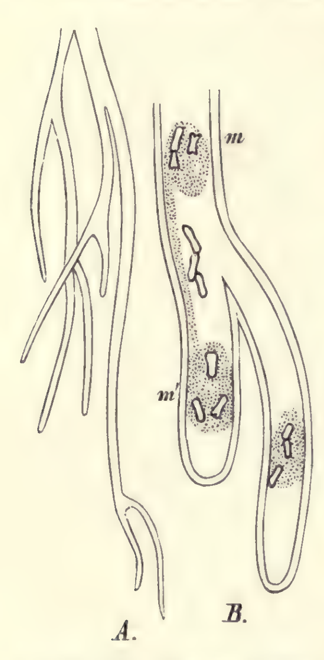


Fig. 459. *A.* Milchsaftzellen von Euphorbia splendens. *B.* ebenso von Euphorbia canariensis, stärker vergrößert.

7. Organische Säuren (Salze der organischen Säuren[1]).

a) Oxalsäure $C_2H_2O_4$.

Als krystallinischer Niederschlagskörper kommt in der Pflanze nur der oxalsaure Kalk vor. Die Oxalsäure ist in Wasser, Alkohol löslich, kommt in der Pflanze in Form löslicher Ammon-, Kali- und Natronsalze allgemein vor. Das Kalksalz ist schwer löslich und wird krystallinisch niedergeschlagen in Form von Einzelkrystallen, im Grundgewebe der Cacteen, s. auch Fig. 462, in morgensternförmigen Kugeln von Krystallen, an welchen nur die Pyra-

[1]) Sanio, Ueber die in der Rinde dicotyler Holzgewächse vorkommenden Niederschläge von kleesaurem Kalk. 1857. Monatsber. d. K. Ac. d. Wissensch. April. — S. Rosanoff, Ueber Krystalldrusen in den Pflanzenzellen. 41. Botan. Ztg. 67. — G. Hilgers, Ueber das Auftreten der Krystalle von oxalsaurem Kalk im Parenchym einiger Monocotylen. S. 285. Pringsh. Jahrb. Bd. VI. 1867—68. — H. Graf zu Solms-Laubach, Ueber einige geformte Vorkommnisse oxalsauren Kalkes in lebenden Zellmembranen. 509. 525. 541. Bot. Ztg. 71.

midenendflächen gut ausgebildet ſind, in der Mehrzahl der Rinden der Laubbäume, Fig. 460 *B*, in flachen, tafelförmigen Kryſtallen bei den Abietineen, in Raphiden (es ſind dieß Büſchel einander parallel geordneter, nadelförmiger Säulen, welche größere Zellen des Grundgewebes erfüllen, Fig. 462),

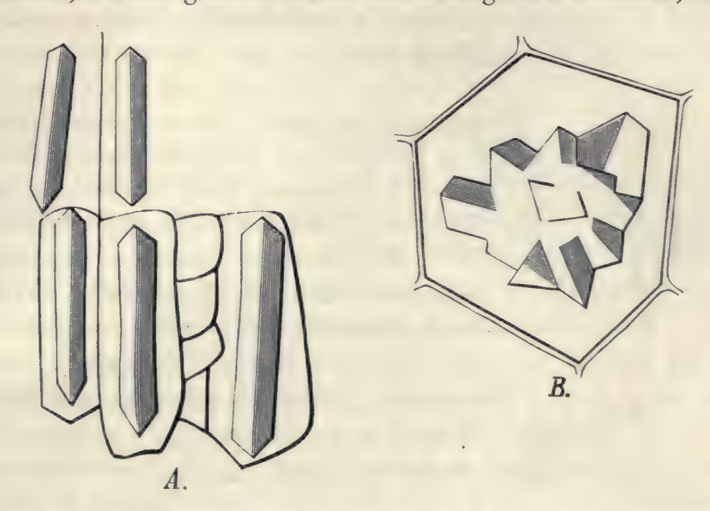


Fig. 460. *A.* Einzelkryſtalle (Gyps) in der Rinde von Quajacum officinale. *B.* Kryſtallgruppe aus dem Rindenparenchym der Cuſſonia ſpicata.

in allen ſaftigen, vegetativen Geweben der höheren Pflanzen. Als ſaurer Saft findet ſich dieſe Säure in den Rumex-, Oxalis-, Rheumarten in allen Theilen. Die Oxalſäure zerſetzt ſich beim Erhitzen zuerſt in Ameiſenſäure, zuletzt in Kohlenoxyd und Waſſer:

$$C_2H_2O_4 = CO_2 + CH_2O_2$$
$$C_2H_2O_2 = CO + H_2O.$$

Umgekehrt kann durch Oxydation der meiſten *C, H, O*-Verbindungen, aber auch aus Kohlenſäure, durch Reduction mittelſt Natrium, Oxalſäure erhalten werden.

Auffällige Verbindungen der Oxalſäure ſind der oxalſaure Methyläther $C_2(CH_3)O_4$ und der Aethyloxalſäureäther $C_2(C_2H_5)O_4$.

Die Oxalſäureſalze diffundiren vom Blatte rückwärts, erreichen dabei einen Vorſprung vor den Kohlehydraten. Durch vergleichende Unterſuchungen über die Translocation der Aſſimilationsproducte im Baume wurde (Botaniſche Unterſuchungen I., S. 182) feſtgeſtellt, daß der oxalſaure Kalk mehrere Wochen vor dem Amylum in dem Stamm ankommt. Nach Solms-Laubach ſcheiden ſich Kryſtällchen von oxalſaurem Kalk aus im Holz des Juniperus virginiana, und nach de Bary in den Sclerenchymzellen der Welwitſchia, Fig. 461. Auch in den Epidermen zahlreicher Pflanzen wird dasſelbe Salz vermöge ſeiner Diffuſibilität eingelagert und in außerordent-

lich feinen, zahlreichen Kryſtällchen niedergeſchlagen, Fig. 463. In dem Marke von Kerria japonica lagern ſich die Kryſtalle an Zellſtoffbalken, welche quer durch das Lumen der Zelle geſpannt ſind, Fig. 464.

In der Nähe der leitenden Gewebe der Blattſtiele, aber auch in den Zweig- und Stammrinden finden ſich reihenweiſe geordnete Zellen, jede mit einem Kryſtall (Kryſtallſchläuche).

b) Dreibaſiſche Säuren.

Die Aepfelſäure iſt in den Früchten der Pomaceen (Sorbus aucuparia) am reichſten. Die Salze ſind meiſt löslich. Sie kann aus Weinſäure bei Behandlung mit JH erhalten werden:

$$\underset{\text{Weinsäure.}}{C_4H_6O_6} + 2\,HJ = \underset{\text{Aepfelsäure.}}{C_4H_6O_5} + 2\,J + H_2O.$$

Durch Verluſt von 1 Molecul H_2O entſteht Fumarſäure.

Die Löſung dreht das polariſirte Licht nach links. Bei der Oxydation zerfällt ſie in Oxalſäure. Durch Reduction geht ſie in Bernſteinſäure über. In den Pflanzenſäften iſt ſie ſtets gelöſt; ſie kann aus Aſparagin dargeſtellt werden.

a) Rechtsweinſäure $C_4H_6O_6$, rechtsdrehend, in HO und C_2H_5O löslich, geht bei der Behandlung mit JH in Aepfel- und Bernſteinſäure, durch Fermente in Linksweinſäure über.

b) Traubenſäure mit der Weinſäure iſomer, optiſch unwirkſam.

c) Linksweinſäure dreht nach links, hemiedriſche entgegengeſetzte Ausbildung der Kryſtallendflächen zu *a*) Rechtsweinſäure.

c) Fettſäurereihe.

Dieſe Säuren kommen in der Pflanze in Form von löslichen Salzen und in den Fetten und fetten Oelen vor. Im freien Zuſtande ſind bekannt die Ameiſenſäure in den Nadeln der Abietineen, in den Brennhaaren der Urticeen, die Propionſäure in unreifen Weinbeeren.

Ameiſenſäure	$C\,H_2\,O_2$	in den Nadeln der Abietineen, Urticeenhaar.
Eſſigſäure . .	$C_2H_4\,O_2$	aus Alkohol, Mycoderma aceti.
Propionſäure	$C_3H_6\,O_2$	in unreifen Weinbeeren.
Butterſäure .	$C_4H_8\,O_2$	bei der Gährung der Früchte und der Blätter.
Valerianſäure	$C_5H_{10}O_2$	im Rhizom von Valeriana.
Capronſäure .	$C_6H_{12}O_2$	im Cocosöl, in der Frucht von Gingko u. a. m.
Caprylſäure .	$C_8H_{16}O_2$	im Fuſelöl des Weines, im Arnicarhizom.
Pelargonſäure	$C_9H_{18}O_2$	in den Geranien-Blüthen und Blättern.
Caprinſäure .	$C_{10}H_{20}O_2$	im Cocosnußöl.

Die höheren Glieder der Reihe als Glyceride im fetten Oel (s. Fette und fette Oele).

d) Die aromatischen Säuren (Benzoësäure, Toluylsäure, Cuminsäure).

Diese Säuren sind nicht allgemein verbreitet, wesentlich von chemischem Interesse.

Die Benzoësäure im Benzoëharz durch Sublimation gewonnen, ist fest, krystallinisch, $C_7H_6O_2$, schmilzt bei 121° C., siedet bei 249° C. Synthetisch aus dem Bittermandelöl herstellbar. Sie kann auch aus mehreren Kohlenwasserstoffen erhalten werden.

Bei der Behandlung des Bittermandelöles mit Kalihydrat entsteht Benzylalkohol und benzoësaures Kalium:

$$2(C_7H_6O) + KHO = C_7H_8O + C_7H_5KO_2.$$

Cuminsäure $C_{10}H_{12}O_2$ aus dem Cuminol im ätherischen Oel von Cuminum durch Einwirkung von Kalihydrat dargestellt.

Zahlreiche Verbindungen sind von den aromatischen Säuren bekannt, welche indeß bis jetzt ein geringes pflanzenphysiologisches Interesse bieten (s. organische Chemie).



FIG. 461. Sclerenchymfaser aus dem Stamm der Welwitschia mirabilis (DE BARY, a. a. O. S. 140).

8. Anorganische Salze[1]).

Außer dem kohlensauren Kalk in den Cystolithen der Urticaceen kommt es selten zur Abscheidung krystallisirter Massen. Der kohlensaure Kalk krystallisirt in den Plasmodien der Mixomyceten. Schwefelsaurer Kalk kommt in Einzelkrystallen in der Quajakrinde vor, Fig. 460 *A*. Sonst sind die anorganischen Salze in molecularer Vertheilung, wie das Aschenskelett beweist (s. oben S. 409).

9. Alkaloide[2]).

Alkaloide sind meist in minimaler Menge in den Pflanzentheilen vorkommende krystallisirbare oder flüchtig destillirbare, flüssige, alkalisch rea-

---

[1]) S. ROSANOFF, Ueber Kieselsäureablagerungen in einigen Pflanzen. 749. 765. Bot. Ztg. 71.

[2]) A. WIGAND, Ueber den Sitz der China-Alkaloïde. 137. Bot. Ztg. 62. — Prof. WILH. WICKE, Beobachtungen an Chenopodium vulvaria über die Ausscheidung von Tri-

girende, mit Säuren Salz bildende Körper. Hinſichtlich ihrer Vertheilung iſt zu bemerken, daß ſie über die ganze Pflanze vorkommen, reichlicher aber in beſtimmten Theilen, oder im Milchſaft abgeſchieden werden. So kommt das Morphin (und die Alkaloide des Opium) wohl in der ganzen Mohnpflanze, am reichſten aber im Milchſaft gelöſt, das Chinin in den Cinchoneen, vorzugsweiſe in alten Rinden, Coffeïn in der ganzen Thee- und Kaffeepflanze, in letzterer aber reichlicher im Samen, in erſterer reichlicher im Blatte, vor. Urſprünglich waren dieſe Körper jedenfalls alle gelöſt im Zellſafte. In trocknenden Geweben wie die ältere Rinde, das Gewebe der Endoſperme der Samen- und Fruchtſchale und anderer mehr wird die Löſung in der Zellwand imbibirt, und es haften dort die Salze ähnlich den Pigmenten mehr oder weniger feſt gegenüber den künſtlich angewandten Löſungsmitteln; namentlich wenn die Alkaloide mit Gerbſäure verbunden ſind. Die Bedeutung der Alkaloide in den Ernährungsvorgängen der Pflanze iſt unbekannt[1]).

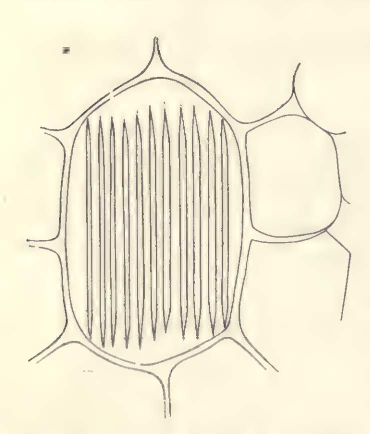


Fig. 462. Dracæna. Raphide in dem Parenchymgewebe der Rinde.

---

methylamin. 393. Bot. Ztg. 62. — N. J. C. Müller, Unterſ. über den Sitz der Alkaloide in der Cinchonarinde. Pringsh. Jahrb. Bd. V. S. 238. 1866—67. — Dr. W. Pfeffer, Heſperidin, ein Beſtandtheil einiger Heſperideen. 529. Botan. Ztg. 74. — Kellermann, Aſparagin aus Althæawurzel und Scorzonera. 381. Bot. Ztg. 74. — E. v. Gorup-Besanez, Weitere Mittheilung über das Auftreten von Leucin neben Aſparagin während des Keimproceſſes der Wicken. 379. Bot. Ztg. 74.

[1]) Die Alkaloide ſchließen ſich an die auf ſynthetiſchem Wege von den organiſchen Chemikern hergeſtellten Aminbaſen an:

a) primäre Aminbaſen.

Methylamin $\left.\begin{matrix} CH_3 \\ H_2 \end{matrix}\right\} N$

Aethylamin $\left.\begin{matrix} CH_5 \\ H_2 \end{matrix}\right\} N$

.
.
.

Caprylamin $C_8H_{19}N$;

b) ſec. Aminbaſen (Imidbaſen).

Bimethylamin $\left.\begin{matrix} CH_3 \\ CH_3 \\ H \end{matrix}\right\} N$

Biæthylamin $\left.\begin{matrix} 2(C_2H_5) \\ H \end{matrix}\right\} N$

.
.
.

c) tertiäre Aminbaſen, z. B. $3(C_2H_5)N$, Trimethylamin, in dem nach Heringen riechenden Kraut von Chenopodium vulvaria.

Dieſe werden durch Einwirkung von Jodmethyl, Bimethylamin gewonnen:

$$\frac{2\,(CH_3)\,.\,N \,|\, H}{CH \quad |\, J}.$$

Eine ſecundäre Aminbaſe iſt das Coniin.

Die Chemiker unterscheiden *O*freie und *O*haltige Alkaloide. Die ersteren sind flüchtig und im condensirten Zustande meist flüssig. Letztere sind nicht flüchtig und meist krystallisirbar.

a) Sauerstofffreie Alkaloide, Aminbasen.

Nicotin $C_{10}H_{14}N_2$ in den Blättern der Nicotiana (2—7 %). Die Blätter werden mit verdünnter Schwefelsäure ausgezogen, die Lösung mit *KHO* übersättigt, das Alkaloid abdestillirt. Es siedet bei 250° und ist eine wasserklare Flüssigkeit (charakteristische Verbindung mit Platinchlorid, siehe organ. Chemie).

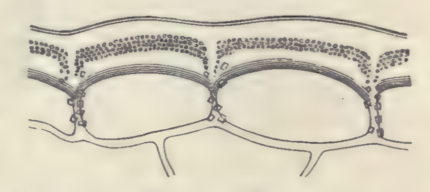


Fig. 463. Krystalle von oxalsaurem Kalk in der Epidermis von Sempervivum calcareum (nach Solms-Laubach).

Coniin $C_8H_{15}N$ in der ganzen Pflanze des Schierlings, am reichlichsten in den Samen, wird gewonnen durch Destillation der Pflanzentheile mit *KHO*-Lösung. Es ist eine farblose ölige Flüssigkeit, specifisches Gewicht 0,89. Neben diesem kommt in Conium maculatum noch Conhydrin $C_8H_{17}NO$ vor.

Sparteïn $C_{15}H_{26}N_2$ aus den Blättern und Früchten von Sarothamnus scoparius durch Destillation erhalten. Die krystallinischen Salze enthalten zwei Molecule der Säure.

b) Sauerstoffhaltige, nichtflüchtige Alkaloide (z. Th. Ammoniumbasen).

Specifische Verbindungen in gewissen Pflanzenfamilien:

1° Ranunculaceen: Delphinin $C_{24}H_{35}NO_2$, Samen des Delphinium Staphis agria;

2° Solaneen: Atropin $C_{17}H_{23}NO_3$ in allen Theilen, reichlich in den Wurzeln der Atropa belladonna. Krystallisirt in feinen Prismen, sehr giftig. Bewirkt die Erweiterung der Pupille;

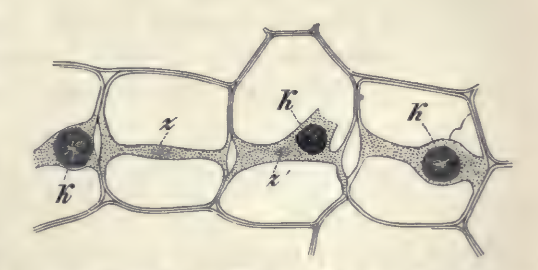


Fig. 464. Ueber die Krystalldrusen im Marke von Kerria japonica. *z* Zellstoffbalken. *K* Drusen. *z'* verzweigter Zellstoffbalken.

3° Strichneen: Strichnin $C_{21}H_{22}N_2O_2$ aus dem Endosperm der Samen von Strichnos nux vomica, starkes Gift. Brucin $C_{23}H_{26}N_2O_2 + 4H_2O$, in den Rinden einiger Strichnosarten. Curarin $C_{10}H_{15}N$? ein Pfeilgift, Curare, der Javanesen;

4° die Cinchoneen der Cordilleren Süd-Amerikas enthalten in ihren

Blättern, reichlicher im Baſtparenchym der Stammrinden, mehrere dort mit Gerbſäure verbundene Alkaloide, welche durch Auswaſchen der Gewebe mit verdünnter SO_4H, Fällen mit $MgCO_3$ gewonnen werden (ſ. organiſche Chemie). Chinin $C_{20}H_{24}N_2O_2$ gut kryſtalliſirbare Salze mit den anorganiſchen Säuren. Cinchonin $C_{20}H_{24}N_2O_1$ ſchwerer löslich in Aether wie Chinin. (Chinidin $C_{20}H_{24}N_2O_2 + 2H_2O$, Cinchonidin $C_{20}H_{24}N_2O$);

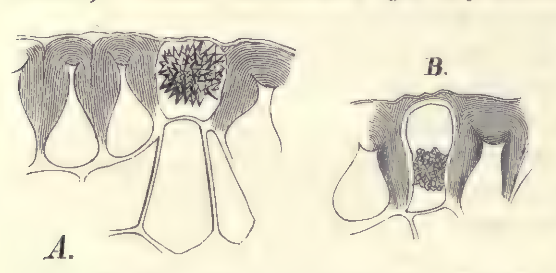


Fig. 465. Encephalartos Altenſteinii. Epidermiszellen mit Kryſtalldruſen (Rosanoff, Bot. Ztg. 1868).

5° Papaveraceen. Der eingedickte Milchſaft des Papaver ſomniferum enthält alle Alkaloide, welche urſprünglich in wäſſeriger Löſung mit emulgirtem Kautſchuk und Pflanzenſchleim befindlich waren. Dieſe ſind: Morphin $C_{17}H_{19}NO_3 + H_2O$ kryſtalliſirt, in Waſſer ſchwer, in Alkohol leicht löslich und die Salze in Waſſer leichter löslich. Narcotin $C_{22}H_{23}NO_7$, Narceïn $C_{23}H_{29}NO_9$, Papaverin $C_{20}H_{21}NO_4$, Thebaïn $C_{19}H_{21}NO_3$ u. a. m.;

6° Colchicaceen: Veratrin $C_{32}H_{52}N_2O_8$ aus den Früchten des Veratrum Sabadilla und in den Rhizomen der Veratrumarten. Colchicin $C_{17}H_{10}NO_3$ in allen Theilen, reichlicher in Samen und Knollen von Colchicum autumnale.

10. Glucoside.

Dieſe zum Theil von den Chemikern ſelbſt wenig gekannten Körper kommen jedenfalls urſprünglich im Grundgewebe der Rinde, der Blätter und Früchte gelöſt vor. Später werden ſie wie die Alkaloide zum Theil in die Membranen imbibirt. Sie zerſetzen ſich unter dem Einfluß von Säuren, Alkalien und Fermenten, indem ſie unter Aufnahme von Waſſer in Zucker und einen anderen Körper zerfallen. Dieſer kann ſein eine Säure oder eine indifferente kryſtalliſirbare oder amorphe, *N*haltige oder *N*freie Verbindung.

a) Stickſtofffreie Glucoſide.

1° Salicin $C_{13}H_{18}O_7$, aus den Weidenrinden durch wäſſerigen Auszug gewonnen, kryſtalliſirt in feinen, bei 198° C. ſchmelzbaren, in heißem Waſſer löslichen Nadeln; ſpaltet ſich unter dem Einfluß des Speichelfermentes in Traubenzucker und Saligenin ($C_7H_8O_2$) nach dieſer Formel:

$$C_{13}H_{18}O_7 + H_2O = C_7H_8O_2 + C_6H_{12}O_6.$$

Bei der Behandlung mit Schwefelſäure entſteht Saliretin und Zucker.

2° Populin $C_{20}H_{22}O_8$. In der Rinde der Pappeln; ſynthetiſch dargeſtellt aus Benzoilchlorid und Benzoëſäureanhydrit. Das Populin zerfällt

bei der Behandlung mit Barythydrat in Benzoëſäure ($C_7H_6O_2$) und Salicin;

3⁰ Arbutin $C_{12}H_{16}O_7 + 2H_2O$ in den Blättern des Arbutus uva urſi;

4⁰ Phloridzin $C_{21}H_{24}O_{10} + 2H_2O$ in den Rinden der Pomaceen und Amygdaleen;

5⁰ Frangulin $C_{20}H_{20}O_{10}$ in der Rinde des Rhamnus Frangula, kryſtalliſirt, bei 260⁰ C. ſchmelzbar, zerſetzt ſich durch Säuren in Frangulinſäure ($C_{14}H_{10}O_5$) und Zucker;

6⁰ Aesculin $C_{21}H_{24}O_{13}$ aus der Rinde der Roßkaſtanie. Die wäſſerige Löſung gelbbraun mit ausgezeichnetem Dichroismus (oder grünem Fluoreſcenzlicht). Verdünnte Säuren zerlegen es in Aesculetin und Zucker;

7⁰ Rubierythrinſäure $C_{26}H_{28}O_{14}$ in der Wurzel (Rhizom) von Rubia tinctorum, zerfällt durch Einwirkung von Fermenten in Zucker und Alizarin. Das Alizarin $C_{14}H_8O_4$, ein rothes Pigment, hat ſich an der alten Krappwurzel bereits gebildet;

8⁰ Quercitrin $C_{33}H_{30}O_{17}$ kryſtalliſirt in gelben Kryſtällchen aus der Rinde von Quercus tinctoria;

9⁰ Carminſäure $C_{17}H_{18}O_{10}$ in manchen Blüthen, im Farbſtoff der Cochenille (Coccus cacti), ſpaltet ſich beim Behandeln mit Säuren in Carminroth $C_{11}H_{12}O_7$ und Zucker;

10⁰ Convolvulin $C_{31}H_{50}O_{16}$ in der Jalappenwurzel, Jalappin $C_{34}H_{56}O_{16}$ im Rhizom von Convolvulus orizabenſis;

11⁰ Digitalin $C_{37}H_{45}O_{15}$ in den Blättern der Digitalis purpurea (ſ. organ. Chemie).

b) Stickſtoffhaltige Glucoſide.

Unter dieſen ſind die wichtigeren das Solanin $C_{43}H_{71}NO_{16}$ in den Solanumarten (Kartoffel), Amygdalin $C_{21}H_{27}NO_{11} + 3H_2O$ in Blättern und Samen der Amygdaleen (bittere Mandeln). Das letztere hat beſonderes Intereſſe. Durch Ausziehen der entölten Samen mit kochendem Alkohol gewonnen. Bei der Fermentation mit den im Samen vorkommenden Körpern (Emulſin) zerſetzt es ſich in Bittermandelöl, Blauſäure und Zucker

$$C_{20}H_{27}NO_{11} + 2H_2O = C_7H_6O + CNH + 2(C_6H_{12}O_6).$$

Myronſäure $C_{10}H_{19}NS_2O_{10}$. Dieſer intereſſante Körper in den Senfſamen zerfällt bei der Behandlung mit Kalium in Senföl C_4H_5NS, Zucker und doppeltſchwefelſaures Kali.

11. Pigmente[1]).

Die chemiſche Conſtitution der Farbekörper iſt, mit Ausnahme weniger, Anilin, Alizarin, nicht aufgeklärt. Die Mehrzahl kommt in ver-

---

[1]) B. Frank, Fluoreſcenzerſcheinungen als Urſache der Färbungen von Pflanzentheilen. 405. — Rosanoff, *Notices sur le pigment rouge des floridées et son rôle physio-*

ſchwindend kleiner Menge in der Pflanze vor. Hinſichtlich ihrer Entſtehung hat man gefunden, daß das grüne Pigment, Chlorophyll (ſiehe S. 491 ff.), ohne den Einfluß des Lichtes (mit Ausnahme der Abietineenkeimlinge und der Farrenprothallien) nicht gebildet wird. Die große Mehrzahl der Blüthenfarbſtoffe aber wird auch im Dunkeln gebildet. SACHS brachte über den Blüthenknoſpen Papprecipienten an, in welchen die Knoſpen ſich zur Blüthe entfalteten. Die Blüthen zeigten die normale Farbe. Wurden in dieſem Verſuche die Laubblätter von den Pflanzen abgeſchnitten, ſo unterblieb die Bildung der Blüthenfarben.

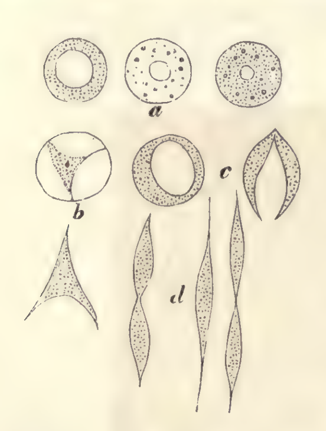


FIG. 466. G. KRAUS, PRINGSH. Jahrb. VIII. Bd., Taf. 10. Entſtehung der Farbſtoffkörper in den Beeren von Solanum pſeudocapſicum. Die grüne Beere enthält Chlorophyllkörper, welche ſich allmälig in ein orangegelbes Pigment umbilden, die kuglichen Chlorophyllkörper *a* färben ſich allmälig gelb und differenziren ſich, indem z. Th. farbloſe Vacuolen auftreten, als ſpindelförmige Plasmakörper von gelber Farbe *c d*.

Nach der hiſtologiſchen Vertheilung kann man die Pigmente in dieſer Weiſe gruppiren:

a) Das Pigment iſt an das Protoplasma gebunden, dort in minimalen Mengen (wahrſcheinlich im fetten Oel) gelöſt. Die Färbung der Gewebe iſt, wenn die Plasmakörper im farbloſen Zellſaft differenzirt ſind, discontinuirlich.

1⁰ Chlorophyll (ſ. oben S. 491), in Waſſer unlöslich;

2⁰ Phycoërythrin, ein rothes Pigment in den Florideen, in Waſſer löslich, wird durch Kali und Ammoniak olivengrün. In den zum Theil prachtvoll roth gefärbten Florideen findet ſich ein grünes, in Alkohol lösliches Pigment, deſſen Abſorptionsſpectrum in Fig. 467 nach PRINGSHEIM dargeſtellt iſt. Dieſes Pigment wurde von den früheren Forſchern KÜTZING, COHN, ROSANOFF als identiſch mit dem Chlorophyll angeſehen. PRINGSHEIM zeigt, daß es eine Modification desſelben iſt und ſich durch eine geringere Extinction in den Bändern *I, II, III,* durch eine etwas größere in den Bändern *IV* bis *VII* unterſcheidet. Das Florideenroth, Phycoërythrin, iſt eine Modi-

logique. Comptes rendus. 9 Avril 1866. Zur Morphologie der Pflanzenfarbſtoffe. 720. Bot. Ztg. 70. — G. KRAUS, Die Entſtehung der Farbſtoffkörper in den Beeren von Solanum pſeudocapſicum. 131. PRINGSH. Jahrb. VIII. — J. REINKE, Beitrag zur Kenntniß des Phycoxanthin. PRINGSH. Jahrb. Bd. X. S. 399. — NÄGELI und SCHWENDENER, Das Mikroſkop. 1. Aufl. S. 495. Leipzig. Engelmann. 1867. — ED. BORSCOW, Notiz über den Polychroismus einer alkoholiſchen Cyaninlöſung. 351. Bot. Ztg. 75. — F. HILDEBRAND, Anatomiſche Unterſuchungen über die Farben der Blüthen. PRINGSH. Jahrb. Bd. III. S. 59. — Dr. J. SACHS, Wirkung des Lichts auf die Blüthenbildung unter Vermittelung der Laubblätter. 117. 25. 33. — Dr. JUL. WIESNER, Einige Beobachtungen über Gerb- und Farbſtoffe der Blumenblätter. 389. Bot. Ztg. 62.

fication des Florideengrüns; dieß erhellt aus der Coincidenz der Abforptionsftreifen, Fig. 468. Es ift durch die Löslichkeit in Waffer, die Unlöslichkeit in Alkohol von erfterem unterfchieden. Beide unterfcheiden fich von dem Phanerogamenchlorophyll durch einen zwifchen *III* und *IV* (des letzteren) belegenen Streifen *IV a* und durch eine Verfchiebung des Bandes *III*;

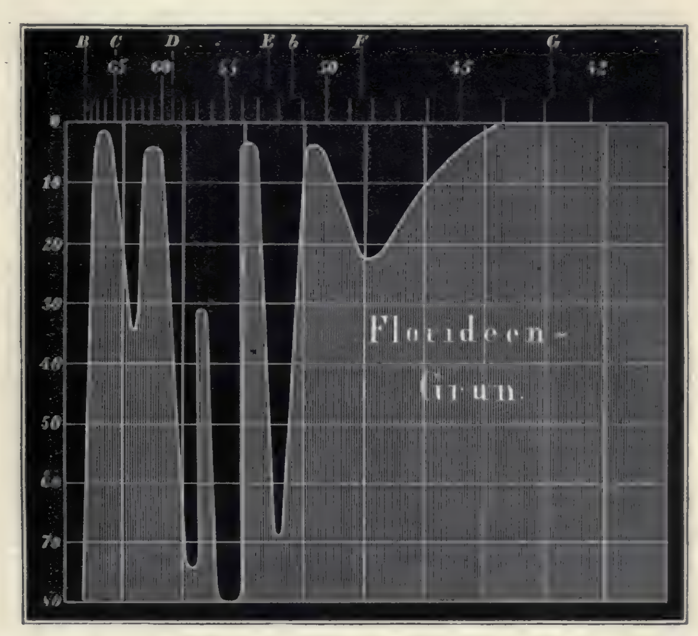


Fig. 467. Abforptionsfpectrum des Florideengrünes nach Pringsheim. In der Figur find außer den Fraunhofer'fchen Linien die Wellenlängen in der Abfciffenrichtung in hunderttaufendftel eines Millimeters angegeben. Die Ordinatenrichtung bedeutet die optifche Concentration.

3⁰ Diatomin, ein braungelbes Pigment in dem Plasma der Diatomeen, wird durch Alkalien grün gefärbt;

4⁰ Anthoxanthin im Gelb der Compofitenblüthen wird durch Schwefelfäure blau gefärbt (f. oben S. 507);

5⁰ Xanthophyll (Phylloxanthin Frémy), der gelbe Beftandtheil des Blattgrünes, foll identifch fein mit dem Gelb der Herbftblätter (f. oben S. 506);

6⁰ ein gelbrothes Pigment in den Früchten von Solanum Lycoperficum.

b) Das Pigment ift in dem Waffer des Zellfaftes gelöft. Die Färbung ift daher continuirlich. Hierher gehören die rothen, violetten, blauen Pigmente (Erythrophyll, Anthocyan), welche in verfchwindend kleiner Menge in den Blüthenblättern vorkommen. Die verfchiedenen Nuancen der Farbe,

das Roth des Papaver, der Rofe, das Blau der Campanula, das Violett der Viola und das Tiefblau der Gentianen find jedenfalls einerfeits verfchiedene Concentrationen, andererfeits vielleicht verfchiedene Zuftände eines oder weniger Pigmente, welche, je nachdem fie in faurer oder alkalifcher Löfung befindlich find, nach dem Roth oder Blau hinneigen. Das Blau vieler Blüthen wird bei der Behandlung mit Säuren ähnlich dem Lackmus-

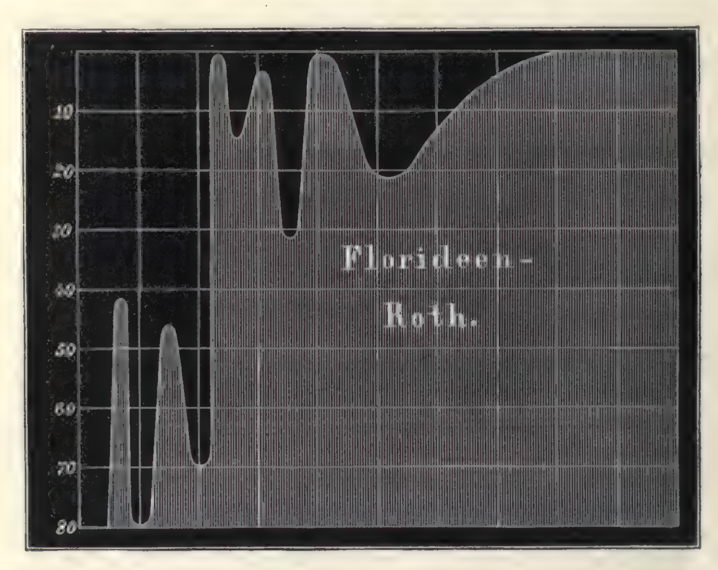


FIG. 468. Abforptionsfpectrum des Florideenrothes, nach PRINGSHEIM. (Zur Erklärung fiehe die früheren Figuren S. 563.)

pigment in Roth übergeführt. Das Roth der Rofen und anderer Blüthen geht bei der Behandlung mit Alkalien in Violett, Blau und Grün über. Einen geformten Plasmakörper mit blauem Pigment fand HILDEBRANDT bei Tillandfia amœna und Strelitzia.

c) Pigmente, welche urfprünglich im Zellfaft zum Theil in farblofen Verbindungen gelöft waren, fpäter in die Zellhaut imbibirt werden:

1⁰ Farbftoff der Rubia tinctorum, in Löfung gelb, durch Oxydation roth, purpurn mit Säuren, mit Alkalien wieder gelb. Das Alizarin ift in den Rhizomen der Rubia tinctorum als ein farblofes Glucofid enthalten; nach dem Tod der Pflanzen erft zerfetzt fich diefes in Zucker und Alizarin. Man hat in der Krappwurzel zwei chemifch gut gekannte Verbindungen gefunden:

α) Alizarin, Dioxyanthrachinon $C_{14}H_8O_4$.

Diefer Körper wird jetzt künftlich durch Einwirkung von Kalihydrat auf anthrachinondifulfonfaures Kali erhalten:

$$C_{14}H_6O_2 \begin{matrix} SO_3K_a \\ SO_3K_a \end{matrix} + 2KOH = C_{14}H_8O_4 + 2K_2SO_3.$$

In der Krappwurzel iſt dieſe Verbindung als Ruberythrinſäure enthalten.

β) Purpurin $C_{14}H_8O_5$ wird aus der Krappwurzel durch Alaunlöſung, in welcher das Alizarin unlöslich iſt, ausgezogen;

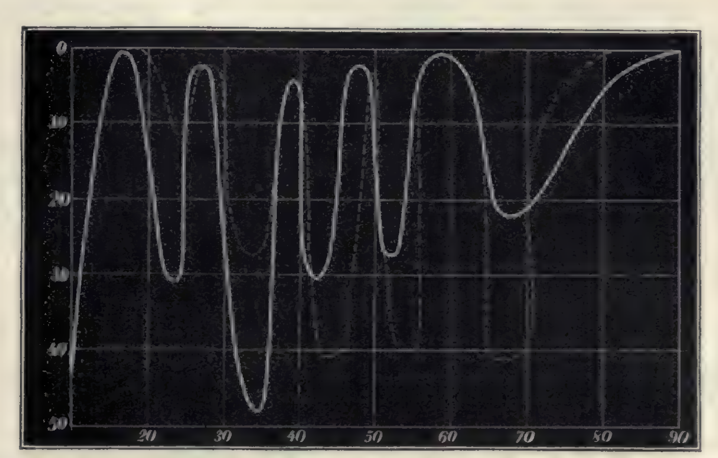


FIG. 469. Die ſtark ausgezogene Curve iſt die Abſorption des Phylloxanthin, die ſchwach punctirte diejenige des Chlorophyllin (nach TIMIRJASEFF).

2⁰ Farbſtoffe der Curcumarhizome in Alkalien gelbbraun, mit Säuren gelb gefärbt, entſtehen jedenfalls auch erſt, nachdem das Rhizom der Curcuma getödtet iſt. Das Pigment iſt in Aether und Benzol löslich und kryſtalliſirt in orthorhombiſchen Säulen. Die Chemiker nennen dieſes als Reagens dienende Pigment Curcumin $C_{10}H_{10}O_3$;

3⁰ die Farbſtoffe der Hölzer. Faſt alle Bäume bilden im Kernholz Farbſtoffe, welche in den Zellwänden des Holzes imbibirt ſind. Reichliche Ablagerungen ſolcher finden ſich im Blauholz (Campecheholz) des Hæmatoxylon Campechianum. Der Farbkörper iſt in Aether löslich, kryſtalliſirt in gelben Prismen. Mit Ammoniak geht dieſes Hæmatoxylin $C_{16}H_{14}O_6 + 3H_2O$ eine Verbindung ein von rother Farbe: das Hæmateïnammoniak $C_{16}H_{12}O_6, 2NH_3$.

Ein ähnliches Pigment kommt im Fernambukholz vor;

4⁰ das Pigment, welches unter dem Namen Lackmus in wäſſeriger Löſung, mit Alkalien blau, mit Säuren roth als Reagens in der Alkalimetrie Anwendung findet, ſtammt aus den Gonimonzellen der Roccella, einer Flechte. Es iſt ein Zerſetzungsprodukt des Chlorophylls dieſer Flechte;

5⁰ der Indigo iſt in dem Safte der Indigoferaarten, aber auch in einigen Cruciferen und Polygoneen als farbloſe Verbindung (wahrſchein-

lich ein Glucofid) enthalten. Der Saft fetzt bei Berührung mit der atmofphärifchen Luft den Indigo ab.

Das Indigblau $C_{16}H_{10}N_2O$ wird durch Sublimation gewonnen. Es ift feft, kryftallinifch, unlöslich in Waffer, Alkohol, Aether; löslich in Terpentin, Paraffin, Petroleum, Chloroform.

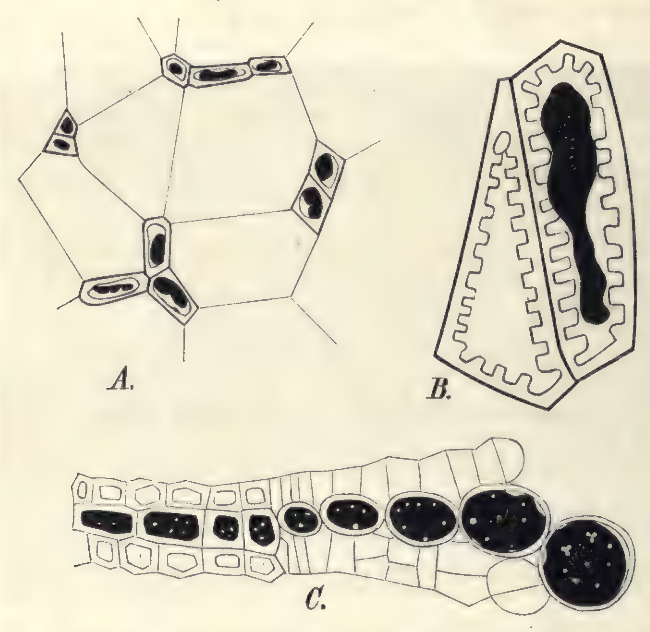


Fig. 470. *A.* Kleine Markparthie der Rofa caninia mit Eifenfalz behandelt. Die Gruppen von zwei bis drei kleineren Zellen vorzugsweife reich an Gerbfäure. *B.* Stark vergrößerte Parthie der Gerbfäurezellen aus *A.* *C.* Markftrahl von Prunus Laurocerafus mit faurem chromfaurem Kali tingirt. Die dunkeln Zellen find gerbfäurereicher.

Indigweiß $C_{16}H_{12}N_2O_2$, durch reducirende Subftanzen aus dem Indigblau entftanden, geht durch Oxydation an der Luft wieder in Indigblau über.

(Die Verbindungen diefer Pigmente mit Schwefelfäure f. organifche Chemie.)

12. Gerbstoffe[1]).

Die Gerbftoffe kommen urfprünglich in der Zellflüffigkeit gelöft, Fig. 470, häufig in befonderen Zellengruppen reichlicher, fo im Marke der Rofe, fonft in dem Grundgewebe aller Baumrinden vor.

---

[1]) A. Wigand, Ueber das Verhalten der Zellenmembran zu den Pigmenten. 129. Bot. Ztg. 62. Einige Sätze über die phyfiol. Bedeutung des Gerbftoffes und der Pflanzenfarbe. 121. 200. Bot. Ztg. 62. — Dr. C. Sanio, Einige Bemerkungen über den Gerbftoff und feine Verbreitung bei den Holzpflanzen. 17. Bot. Ztg. 63.

In der Rinde der Eiche wächst der Gerbstoffgehalt mit dem Alter, d. h. mit der Zunahme der secundären Rinde, sinkt aber wieder in ganz alten Rinden, in welchen die Borkenmasse überwiegt. Während der Jahresperiode beobachtete TH. HARTIG eine Zunahme im Gerbstoffgehalt im Sommer, eine Abnahme im Winter, umgekehrt wie sich die transitorische Stärke verhält, welche in der Rinde in dem ersten Theil der Sommerperiode ab-, in der zweiten und gegen den Winter hin zunimmt.

Die Gerbsäure (Tannin) $C_{17}H_{22}O_{17}$, in Alkohol und Wasser löslich, bildet mit Leim eine in Wasser unlösliche Verbindung. Eine charakteristische Reaction entsteht mit Fe_2Cl_3, blauschwarzes Salz, auch mit Säuren, chromsaurem Kali, braunrothe Färbung.

Die mit Gerbstoff getränkten Pflanzengewebe nehmen aus verdünnten Pigmentlösungen den Farbstoff leichter auf als die gerbstofffreien.

---

§ 39. Zusammenstellung der äusseren Erscheinungen.

Bei dem Studium aller Lebenserscheinungen wird es darauf ankommen, die Gleichzeitigkeit zahlloser Functionen im Auge zu behalten. Je nach dem Einfluß der Hilfsdisciplinen hat sich die Vorstellung von dem Leben verschieden gestaltet. Bald war es mehr der Einfluß der Chemiker, bald derjenige der Physiker, welche im Forschungsgebiet der Physiologie maßgebend wurden. Kaum läßt sich nach dem in den vorstehenden Abschnitten dargelegten Lehrgebäude sagen, wie sich die Physiologie weiter ausbauen wird; sie ist abhängig von dem Fortschritt der physikalischen und chemischen Disciplinen. Eine rein mechanische Theorie der Lebenserscheinung ist, wenn man von dem Weg absieht, welchen die neueren, insbesondere die deutschen Forscher in der Entwickelungslehre eingeschlagen, nicht vorhanden. Die Coincidenz der Symptome des Lebens zu studiren und zu suchen, ist in der That bis jetzt das Einzige, was den Pflanzenphysiologen neben der beschreibenden Entwickelungsgeschichte gelungen ist.

A. Alter der Bäume[1]).

Das Alter der Bäume hat von jeher die Forscher zu Betrachtungen über das Leben angeregt. Die Baumriesen sind die auffälligsten Beispiele

---

[1]) v. HUMBOLDT, Ansichten der Natur. Bd. II. S. 398. — MIELK, Die Riesen der Pflanzenwelt. C. F. Winter. Heidelberg und Leipzig 1863. — Dr. H. R. GÖPPERT, Ueber die Riesen der Pflanzenwelt. Berlin 1869.

continuirlicher vegetativer Verjüngung und Reproduction. Nach GÖPPERT fand das Maximum der Maſſenentwickelung einzelner Baumpflanzen wahrſcheinlich nicht in früheren Erdperioden ſtatt, ſondern in der gegenwärtigen; wenigſtens ſind in der Steinkohlenformation und den darauf folgenden Erdperioden bis jetzt keine Stämme aufgefunden worden, welche ſich mit den noch jetzt lebenden Rieſen meſſen könnten. Unter den größten der jetzt lebenden, oder doch erſt in jüngſter Zeit abgeſtorbenen Baumrieſen nennt derſelbe folgende:

Der im Jahre 1867 vom Sturm zerſtörte Drachenbaum von Orotava auf Teneriffa hatte nach HUMBOLDT im Jahre 1799 eine Höhe von 65 F. Der Umfang einige Fuß hoch über dem Boden betrug 45 F. Das Alter wird auf 4000—6000 Jahre geſchätzt.

Unter den einheimiſchen Nadelhölzern erreichen:

Abies pectinata DC. im Böhmerwald 200 F. Höhe, 25—30 F. Umfang;

Picea excelſa Lk. am ſelben Ort 150 F. Höhe, 16—20 F. Durchmeſſer;

Taxus baccata L. bis 60 F. Umfang, bei einem Alter von 2500 bis 3000 Jahren.

Unter ausländiſchen Nadelhölzern erreichen:

Cupreſſus faſtigiata auf dem Berge Athos 4 F. über dem Boden einen Umfang von 12—15 F. bei 1000jährigem Alter;

Cedrus Libani einen Umfang von 35—45 F. bei einem Alter von 2500 Jahren;

Cedrus Deodara Loud. auf dem Himalaya 150 F. Höhe und einen unteren Umfang von 38 F.;

Araucaria excelſa R. Br. in Auſtralien 220 F. Höhe, unterer Stammdurchmeſſer 10—12 F.;

Taxodium ſempervirens Lamb. (Sequoja gigantea Endl.) in der Grafſchaft Calaveras in Californien 250 bis 450 F. Höhe und über der Wurzel 110 F. im Umfang bei einem Alter von etwa 1500 Jahren.

Unter den Laubhölzern erreichten:

eine Eiche, Quercus pedunculata W. in der Nähe von Breslau die Höhe von 78 F., einen Umfang von 42 F. (2 F. über dem Boden), bei einem Alter von nur 700—800 Jahren;

Caſtanea vesca am Aetna 60 F. Umfang (der berühmte Kaſtanienbaum von Cento Cavalli ſoll mehr als 180 F. im Umfang gemeſſen haben);

Linde von Neuſtadt a. d. Kocher 32 F. Umfang, 700—800 Jahre, andere, noch ſtärkere bei Baireuth und Dresden;

Platanus orientalis L., Platane von Bujukdereh bei Conſtantinopel, 90 F. hoch, 150 F. im Umfang;

Hymenæa Courbaril auf La Terniste und Portorico 20 F. Durchmesser bei einem Alter von 1400 Jahren;

Adansonia digitata, Affenbrodbaum in Senegambien, Stamm nur 15—30 F. hoch, Durchmesser 30—34 F., Gesammthöhe 60 F., Kronendurchmesser über 160 F.;

Ficus indica bei Madras, Mittelstamm 28 F. Durchmesser, von 27 Nebenstämmen umgeben, die aus Luftwurzeln entstanden sind, diese besitzen zum Theil 11 F. im Durchmesser;

Eucalyptus amygdalina soll nach S. W. Robinson 500 F. Höhe und in der Höhe von 4 F. einen Umfang von 81 F. haben.

Derartige riesenhafte Ausbildung können indeß nur Individuen erreichen, welche während ihrer ganzen Lebensdauer besonders begünstigt waren. Das Durchschnittsalter, sowie die Dimensionen der Bäume ganzer Wälder sind viel geringere; doch lassen sich bestimmte, allgemein giltige Angaben darüber nicht machen.

Unsere einheimischen Waldbäume theilt Gayer[1]) nach dem Alter, welches einzelne begünstigte Individuen erreichen können, in folgende Gruppen:

Ein Alter von mehr als 500 Jahren	Erle, Eiche, Linde, Ulme, Edelkastanie.
Ein Alter von 300 Jahren und darüber	Ulme, Tanne, Buche.
Eine Stufe tiefer stehen	Esche, Ahorn, Fichte, Lärche, Kiefer, Hainbuche.
Selten über 100 Jahre erreichen	Aspe, Birke, Schwarzerle, Weißerle, Weide.

Im forstlichen Betrieb werden die Eiche selten über 200 Jahre, Buche und Tanne selten über 150 Jahre, Kiefer und Fichte selten über 120 Jahre alt genutzt, während die gewöhnlichen Umtriebe noch viel niedriger sind und z. B. bei der Kiefer nicht selten unter 70 Jahre heruntergehen.

B. Ist der Tod in dem Organismus des Baumes begründet?

Auch der Baumriese im Alter von 1000 Jahren erliegt der Altersschwäche. Während die Verjüngung in der Zweigregion kaum ein Nachlassen der vegetativen Thätigkeit zeigt, sterben die dominirenden Aeste, der Schaft und die Wurzeln ab. Der Tod tritt ein in Folge der Schwierigkeiten, welche die Translocation über immer größer werdende Flächen und Volume mit sich bringt, und in Folge zahlloser Verwundungen, parasitärer Eingriffe, äußerer Beschädigungen durch Sturm, Frost. Jeder Ab-

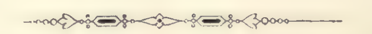
[1]) Carl Gayer, Der Waldbau. Berlin. Wiegandt, Hempel u. Parey. 1878.

leger, jede Knofpe aber trägt in fich die gefunde Triebkraft der Jugend. Studien über das Nachlaffen der vegetativen Kraft, fo weit fie in der Race vererbt wird, liegen bis jetzt nicht vor. Es ift z. B. nicht bekannt, ob eine gegebene Baumform durch Jahrhunderte lang dauernde Verjüngung durch bloße vegetative Sproffung, Stockausfchlag bei fonft gleichen klimatifchen und Bodenverhältniffen gefchwächt wird, gegenüber dem waldbildenden Baum gleicher Form (Species), welcher fich durch gefchlechtliche Vermehrung verjüngt. An und für fich liegt der endliche Tod des Baumes nicht in feiner vegetativen Kraft begründet.

C. Asymptotische Bewegung in der Pflanzenwelt.

So viel ift aus den vorftehend abgehandelten Bewegungserfcheinungen leicht zu überfchauen:

Der Baum repräfentirt in feinem Wachsthum eine afymptotifche Bewegung in der Anhäufung fefter Theile in einem Lebewefen. Er ftrebt, diefen Vorgang durch fehr große Zeiträume continuirlich auszuführen. Das Wachsthum muß fich afymptotifch der Null nähern, ohne diefen Werth indeß in großen Zeiträumen je zu erreichen. Dieß ift darin begründet, daß die Medien (Bodentiefe und Atmofphäre) in ihrer chemifchen Zufammenfetzung beftimmt und unwandelbar und begrenzt find, ferner darin, daß das Gewicht der Zuwachsmaffe von der Keimpflanze ab wächft, nach mehreren oder vielen Jahrzehnten dann einmal culminirt, längere Zeit conftant bleibt, oder ftetig wächft oder finkt. In allen diefen Fällen ift das Wachfen des Volums eine afymptotifche Bewegung. Um diefe Sache auf dem Boden der nächftliegenden Verhältniffe zu behandeln, discutiren wir den Fall: Das Gewicht der Zuwachsmaffe wächft, culminirt einmal und finkt endlich; d. h. mit andern Worten, die Function des Zuwachfes in der Zeit (mit Hilfe der Waage beftimmt) ift eine periodifche. Da fich diefe Maffe über ein ftets wachfendes Volum vertheilt, muß der fichtbare Zuwachs im Lauf der Jahrhunderte fich der Null nähern. Auch im allergünftigften Fall, daß die Zuwachsmaffe ftetig größer würde, ift doch nichts Anderes zu erwarten, denn nun würde die Function, welche durch den zweiten Differentialquotienten dargeftellt ift, in der Zeit immer kleinere Incremente erfahren. Auch jetzt muß fich der fichtbare Zuwachs der Null nähern.



Neunte Abtheilung: Einwirkung der Wärme.

Wir ſind oben (S. 474) zu dem Reſultat gekommen: Die Pflanze iſt als eine Maſchine anzuſehen, in welcher ſich zwei antagoniſtiſche Proceſſe abſpielen. Der eine iſt die Athmung, der andere die Reduction. Indem wir zur Einwirkung der Wärme übergehen, ſtellen wir an die Spitze der folgenden Discuſſion dieſen Satz:

Für einen beſtimmten Vegetationsproceß, z. B. die Reduction der Kohlenſäure, oder den Stoffumſatz beim Wachſen der Organe, oder die Osmoſe von Zelle zu Zelle, oder die Strömung der Protoplasmen, iſt der Uebergang von niederen nach höheren Temperaturgraden, oder umgekehrt, und die Beſchleunigung oder Verzögerung der gedachten Bewegungen wohl immer eine Folge des Temperaturwechſels, niemals aber iſt der Temperaturzuwachs oder -Verluſt eine Urſache dieſer Bewegungen. Hiebei muß indeß die Temperatur nicht ſo weit ſinken, daß das Waſſer im Innern der Zellen gefriere. Mit anderen Worten, der Wärmezuwachs, welchen eine Maſſe erfährt, indem ihre Temperatur zunimmt, kann nicht in die Bewegung umgeſetzt werden, welche wir Leben nennen. Wohl aber wird die bereits herrſchende Bewegung durch den Temperaturzuwachs vergrößert. Wir haben es hienach mit zwei Dingen zu thun: Die ſtrahlende Wärme iſt die Urſache, die Temperatur iſt eine Bedingung der organiſchen Bewegungsformen, ſo weit es ſich um die Vegetation handelt.

§ 40. Strahlende Wärme.

1. Methode der Beobachtung[1]).

Die ſämmtlichen Pflanzen leiten die Wärme ſchlecht und ſtrahlen dieſelbe außerordentlich raſch aus; das weſentlich für die Strahlung angepaßte

[1]) Methode der Beobachtung. In einem abſolut verfinſterten Zimmer wurden alle nöthigen Apparate für feine Wärmemeſſung aufgeſtellt und mit Hilfe des Helioſtaten ein paralleles Lichtbüſchel hereingeleitet. Die Thermoſäule wurde mit Hilfe zweier mit heißem Waſſer gefüllter Blechwürfel zunächſt von beiden Seiten beſtrahlt, um den mecha-

Organ iſt das Blatt. Der Grad der Auslöſchung dunkler Wärmeſtrahlen im Laubblatte iſt abhängig:

1^0 von dem Chlorophyllgehalt;

2^0 von der Dicke;

3^0 von der Textur und anatomiſchen Beſchaffenheit.

Zur Unterſuchung der Abſorption der ſtrahlenden Wärme, welche normal auf die Blattfläche in einem parallelen Strahlenbüſchel der Sonne auftritt, wurde die Thermoſäule angewandt.

I.

Die Thermoſäule wurde 2 mm hinter die Blätter ſo aufgeſtellt, daß der Schatten derſelben die Löthſtellen traf. Die directe Beſtrahlung ergab einen Ausſchlag von 70, der Schatten der Buche ergiebt 60, und es wurden ganz ähnliche Verhältniſſe gefunden für Ahorn, Hainbuche, Ulme, Eiche und Pappel.

Bei derſelben Intenſität der Sonnenſtrahlung ſank der Ausſchlag der Nadel auf 23, wenn die Thermoſäule auf 4 cm von dem beſtrahlten Blatte entfernt wurde.

II.

Bei allmäliger Entfernung der Säule von dem beſtrahlten Blatte wurden für dieſelbe Intenſität (von 81^0 bei directer Beſtrahlung) gefunden:

4 cm 27^0; 5 cm 23^0; 10 cm 13^0; 15 cm 9^0.

---

niſchen Werth des Ausſchlages der aſtatiſchen Nadel auch für ſo große Intenſitäten wie in einem Büſchel des intenſivſten Sonnenlichtes zu beſtimmen. In dem Nachfolgenden die Angaben dieſer Beſtimmungen:

Diſtanz der beiden Würfel von der Säule.	Die Säule beſtrahlt			
	von vorn,	von hinten,	von beiden Seiten	
			Differenz I,	Differenz II.
2 mm	70,5	82	32	12,5
13 »	43	23	23	20
31 »	24	39,5	20	15,5
67 »	21	8	13	14
109 »	5	11,5	6,5	6,5
146 »	3	9	6,5	6

Hieraus ließ ſich nach bekannten Regeln eine Calibrationstabelle berechnen;

E. Ebermayer, Die Temperatur der Waldbäume, vergl. mit der Luft- und Bodentemperatur des Waldes. 436. Bot. Ztg. 73. — Lamansky, Ueber das Wärmeſpectrum des Sonnen- und Kalklichtes. Monatsber. d. königl. Acad. d. Wiſſenſch. Berlin. 17. Decbr. 1871. — Askenasy, Ueber die Temperatur, welche die Pflanzen im Sonnenlicht annehmen. 441. Bot. Ztg. 75.

III.

Das Laubblatt zerstreut die Wärmestrahlen in einem parallelen Sonnenstrahlenbüschel. Die Zerstreuung kann in dieser Weise berechnet werden: wenn das parallele Büschel von Sonnenstrahlen direct auf die Thermosäule fällt und den Ausschlag von 70° hervorbringt, so nimmt das Laubblatt in der directen Nähe der Säule $^{10}/_{70}$ der stromerregenden Kraft hinweg, und wenn die Zerstreuung des austretenden Strahlenbüschels nicht erfolgte, so müßte der Ausschlag am Thermomultiplicator unabhängig von der Entfernung sein. Da nun das Strahlenbüschel in einiger Entfernung auf eine größere Fläche zerstreut ist, so sinkt die Intensität sehr rasch mit der Entfernung der Thermosäule von der durchstrahlten Blattfläche. Setzen wir die Intensität in einer unmittelbar hinter dem Laubblatt belegenen Ebene gleich eins, so ist in einiger Entfernung diese Intensität ein Bruchtheil der eingestrahlten. In der nachfolgenden Tabelle sind verzeichnet:

1° das Verhältniß der durchgegangenen Wärme zur eingestrahlten;
2° jenes Verhältniß der Zerstreuung für eine Distanz von 4 cm.

	Verhältniß der durchgestrahlten Wärme, die Intensität der eingestrahlten gleich eins gesetzt.		Verhältniß der Zerstreuung in 4 cm Distanz hinter dem Blatt.
Buche	0,857	Carpinus	0,211
Eiche	0,857	Buche	0,324
Ulmus	0,859	Aesculus	0,309
Ahorn	0,871	Ulmus	0,338
Carpinus	9,879		

Die größte Zerstreuung zeigt das glatte, aber gefaltete Blatt der Hainbuche, die geringste zeigt die Ulme.

IV.

Die Wärmemenge, welche ein Laubblatt absorbirt, ist nicht eine constante Größe, sondern abhängig von der Phase, in der das Blatt steht, von dem Chlorophyllgehalt, und bei verschiedenen Bäumen von der Dicke der Blätter. Von Interesse ist der Vergleich dieser in dem Blatte der immergrünen zu unseren periodischen und dünnblättrigen Laubbäumen. Wir betrachten zunächst im Anschlusse an die vorstehenden Messungen die Wärme in den dicken lederartigen Blättern der südlichen und der gemäßigten Zone Asiens.

An einem und demselben sonnigen Tage (9. Juni 1875) konnten die nachfolgenden Messungen ausgeführt werden:

Ausschlag der Galvanometernadel.

	2 mm von der Säule.	Directe Bestrahlung.	4 cm von der Säule.	Directe Bestrahlung.
Ficus elastica	71	83	26	83
Camellia japonica . .	63	88	10	88
Nerium Oleander . .	67	83	25	83

Das Verhältniß der Auslöschung des Wärmestrahles nach derselben Weise wie in der vorhergehenden Colonne ist:

	Verhältniß der durchgestrahlten Wärme in einer 2 mm hinter dem Blatte liegenden Ebene, die eingestrahlte gleich eins gesetzt.		Verhältniß der zerstreuten Wärme in 4 cm Entfernung hinter dem Blatte, die eingestrahlte gleich eins gesetzt.
Camellia	0,716	Camellia . . .	0,113
Nerium	0,807	Ficus elastica . .	0,313
Hemerocallis fulva . .	0,843	Saxifraga . . .	0,337
Ficus elastica . . .	0,855	Hemerocallis . . .	0,457

Im Vergleich zu unseren Waldbäumen ist die durchgegangene Wärme etwas kleiner, ebenso ist die Zerstreuung eine etwas geringere. Dieß aber rührt daher, daß das Blatt eine größere Temperatur erhält und somit in seinem Schatten eine größere Wärme ausstrahlt.

Die Durchstrahlung ist abhängig von dem Gehalte an absorbirenden Pigmenten. Gerade hier liegt das Wesen der grünen Farbe. Zwei Bäume eignen sich besonders gut zu diesem Studium, Buche und Blutbuche, der Ahorn und der panachirte Ahorn. Stellt man sich vor, daß der Baum in Hinsicht der Farbe variirt, so aber, daß das nützliche vortheilhafte Pigment erhalten bleibt und zur Steigerung kommt, so hat er es in der Gewalt, für die einfallenden Wärmestrahlen seine Capacität zu steigern oder zu schwächen, so absorbirt die Blutbuche mehr wie die Stammform, zu welcher sie als Varietät gehört. Umgekehrt lassen die panachirten Ahorne (Acer Negundo, A. pseudoplatanus) mehr Wärmestrahlen hindurch wie die grünen Stammformen.

V.

Irdische Wärmequellen zeigen bekanntlich eine geringere Strahlung. Ich bediente mich einer (in Paris construirten, unter dem Namen der Lampe éolienne käuflichen) Petroleumlampe, welche so beschaffen ist, daß die Flamme ohne Glascylinder rußlos brennt. Diese Lampe besitzt ein Uhr-

werk, welches ein Windrädchen treibt, ſo daß um die flache Flamme ein ſtetig gleicher Luftſtrom unterhalten wird. Hinter der Flamme wurde ein Kugelreflector von Neuſilber aufgeſtellt, von welchem ein divergentes Strahlenbüſchel nach dem Schlittenapparat geworfen wird, auf dem die Thermoſäule verſchiebbar iſt. In dieſem Strahlenbüſchel, welches am Thermomultiplicator den Ausſchlag von 52° hervorbringt, wurden allmälig eins, zwei, drei u. ſ. f. Blattlagen eingeſchaltet. Der Ausſchlag im Schatten ſinkt jetzt bei:

	1 Blatt.	2 Blätter.	3 Blätter.	4 Blätter.	5 Blätter.
Buche . .	23,5°	17,25°	15°	11°	4°
Blutbuche .	25,5°	17°	13°	10,5°	

Mit ſteigender Blattzahl ſinkt die Ausſtrahlung, aber nicht proportional dem Widerſtand.

Für dieſelbe irdiſche Wärmequelle wurde die Intenſität des Strahles gefunden, welcher das Blatt durchſetzt hatte.

Urſprüngliche Wärme = 1,00. Nach dem Durchgang durch das Blatt der Hainbuche = 0,514
Ahorn = 0,490
Blutbuche = 0,472
Eiche = 0,461
Buche = 0,435
Ulme = 0,400.

Die einheimiſchen Laubbäume verhalten ſich nach dem Vorſtehenden ziemlich übereinſtimmend. Gleichwohl machen die Bäume ganz ungleiche Anſprüche in Hinſicht des Schattens. So ſind ganz beſonders lichtkronig die Eſche, die Wallnuß, die Roßkaſtanie, die Ulme, während die Buche, Eiche verhältnißmäßig dicht beblättert und beaſtet ſind.

Schon oben S. 514 ff. bei Beſprechung der Aſſimilation wurde darauf aufmerkſam gemacht, daß das Material der gewöhnlichen meteorologiſchen Unterſuchungen nicht zur Baſis für die Vergleichung pflanzlicher Entwickelung benutzt werden kann, weil in ihnen genaue Meſſungen über die Größe der Strahlung fehlen. An einer meteorologiſchen Anſtalt, welche dem Intereſſe der Land- und Forſtwirthſchaft dienen ſoll, müßten mindeſtens fortlaufende Beobachtungen über die Strahlung an dem Bunsen'ſchen Photometer, dem Pouillet'ſchen Pyrheliometer und dem Crookes'ſchen Radiometer gemacht werden. Für die Beſtimmung der Relationen im Waldſchatten, wo die Sonnenſtrahlen beträchtlich gedämpft ſind, wird der Crookes'ſche Radiometer jedenfalls gute Dienſte thun. Dieß Inſtrument conſtruirte Crookes, um die direct mechaniſche Wirkung der Strahlen zu meſſen. Es erlaubt hinlänglich genaue Ableſung, um die Relationen der Schattengrade in verſchiedenen Beſtandsorten zu beſtimmen. Der Apparat beſteht aus

einem ſpindelförmigen Glasrecipienten von beliebiger Größe, welcher ſo weit wie möglich evacuirt iſt. In dieſem Recipienten iſt eine Windmühle aus leichtem Metall angebracht, deren Flügel auf der einen Seite mit glänzenden Stanniolplättchen belegt, während die andere Seite geſchwärzt iſt. Die Mühle geräth in Bewegung bei der geringſten Beſtrahlung mit leuchtender oder dunkler Wärme. Aus der Zahl der Umdrehungen kann die Relation der Intenſität beſtimmt werden[1]).

[1]) Literatur über den Radiometer. POGGENDORFF, Annal. 1875. 11. S. 488. POGGENDORFF, Der Radiometer von CROOKES'. Die Unterſuchungen CROOKES' über den von ihm conſtruirten Radiometer führten ihn zu der Anſchauung, daß es die directe mechaniſche Wirkung der Strahlung ſei, welche die Mühle in Bewegung ſetzt. POGGENDORFF weiſt darauf hin, daß es wahrſcheinlich Luftſtröme ſeien, welche die Bewegung verurſachen. In höchſt verdünnter Luft, ſagt CROOKES, ſcheinen die Wärmeſtrahlen gleich abſtoßend auf ſchwarze und auf weiße Flächen zu wirken, allein die Lichtſtrahlen verhalten ſich anders; ſie ſtoßen die ſchwarzen ſtärker ab als die weißen. Geſtützt auf dieſe Thatſachen hat CROOKES das bekannte Inſtrument in der erſten Ausgabe conſtruirt, deſſen Einrichtung wir hier als bekannt vorausſetzen dürfen. Einer Lichtquelle ausgeſetzt rotirt es, indem die ſchwarzen Flügel abgeſtoßen werden. Aus den Meſſungen CROOKES' ergiebt ſich, daß das Inſtrument für verſchiedene Strahlengattungen empfindliche Unterſchiede zeigt. Die Erklärung, welche POGGENDORFF giebt, lautet: Die ſchwarzen Flächen werden vom Lichtſtrahl ſtärker erwärmt als die weißen und erfahren durch die in dem Apparat noch befindliche Luft einen Rückſtoß. Dieſe von mehreren Phyſikern getheilte Anſchauung hält er für die wahrſcheinlichſte, wiewohl es etwas Widerſprechendes hat, einen derartigen Rückprall in einem ſo verdünnten Medium vorauszuſetzen, beſonders da dasſelbe bei außerordentlich diffuſem Tageslicht noch reagirt. Unterſtützt wird die obige Anſchauung dadurch, daß die Wirkung des Lampenlichtes außerordentlich geſchwächt wird, wenn man eine 20 mm dicke Waſſerſchicht einſchaltet. Sonnen- und Magneſiumlicht erfordern ſelbſtredend eine dickere Waſſerſchicht. Der Apparat rotirt auch im Dunkeln, wenn man ihn hinter eine Platte jenes undurchſichtigen, ſchwarzen Glaſes ſtellt, welches man zum Polariſiren des Lichtes benutzt, und dieſe Platte mit einer Kerzenflamme beſtrahlt. Solches Glas iſt nach MELLONI nur diatherman für wirklich dunkle Wärmeſtrahlen. Dieſelbe Wirkung iſt auch von CROOKES ſelbſt conſtatirt für die dunkeln Wärmeſtrahlen, welche durch eine concentrirte Jodlöſung gegangen ſind.

Die Erklärung POGGENDORFF's hat eine Beſtätigung durch Verſuche gefunden, welche FINKNER anſtellte: Der Radiometer ſteht ſtill, wenn der innere Widerſtand (durch den Druck der Gaſe) gleich dem Ueberdruck iſt, welcher auf die ſchwarzen, ſtärker erwärmten Flächen ſtattfindet. Bei anderen Dimenſionen des Inſtrumentes iſt es denkbar, daß ſelbſt bei größeren Drucken, ja ſelbſt in verdünnter Luft noch Bewegung eintritt. Der Verfaſſer ſtellt, um ſehr große erwärmte Flächen zu beſitzen, Glimmerſcheiben von 162 mm Durchmeſſer in 200 mm Entfernung vom Mittelpunkt des Kreuzes her. Die eine Seite wird geſchwärzt, die andere mit Papier beklebt. Eine Oellampe mit Reflector, welche 60 cm von dem Inſtrument entfernt iſt, bewirkt die Bewegung von einer Drehung in der Minute. Die ſchwarzen Flächen gehen voraus, alſo entgegengeſetzt der gewöhnlich beobachteten Richtung. Um den Luftzug der Lampe bei der beſchriebenen Aufſtellung auszuſchließen, wird eine Glasplatte eingeſchaltet. Bisher iſt das Inſtrument ohne Glashülle. Wird nunmehr das Inſtrument von drei Seiten mit Brettern eingeſchloſſen, von der vierten Seite beſtrahlt, nach oben durch ein Brett abgeſchloſſen, ſo tritt bei derſelben Stellung der Lampe

Die Ausſtrahlung in einer Baumkrone oder in einem Complex vieler, dem Waldbeſtand, wird, bezogen auf die einfache Erdoberfläche, jedenfalls verlangſamt, da die Waldluft, zwiſchen den Blattſchirmen abgeſperrt, ſich durch Strahlung unter der erſten Blätterlage erkältet, und von der nächſten Schicht getrennt iſt durch eine zweite Blätterlage, welche einen beträchtlichen Widerſtand gewährt. So wirkt der Laubbaum, beziehentlich der Wald, als ein Wärmereſervoir gegenüber der nackten oder mit niedern Pflanzen bedeckten Erdoberfläche.

---

die gewöhnliche Drehung ein, indem die weißen Flächen vorausgehen. Verfaſſer denkt ſich den Einfluß des Gefäßes ſo, daß bei beſtimmter Entfernung der Gefäßwand von den Flügeln zuerſt die eine Richtung, die ſchwarze Seite voraus, eingehalten, daß mit wachſender Entfernung die Bewegung Null wird, um endlich in die entgegengeſetzte Richtung überzugehen.

Poggendorff, Ann. d. Phyſik. 1876. Radiometriſche Verſuche. Von Dr. A. Schuster. Verf. hängt das Inſtrument bifilar in einem größeren Glasgefäß auf, welches er darauf auspumpt. Er befeſtigt einen Hohlſpiegel an einer Glashülle, um eine etwaige Bewegung beobachten zu können, läßt dann plötzlich Hydrooxygengaslicht auf das Inſtrument fallen, welches ſich darauf 200mal herumdreht. Dabei wich die Glashülle aber in entgegengeſetzter Richtung mit der Richtung des Kreuzes ab. War die Geſchwindigkeit der Mühle conſtant geworden, ſo kehrte die Hülle in ihre Lage zurück. Nahm man das Licht plötzlich fort, ſo gerieth die Hülle wieder in Bewegung, aber in entgegengeſetzter Richtung zur vorhergehenden. Crookes kommt zu ähnlichen Reſultaten. Er läßt den Radiometer in Waſſer ſchwimmen. Erſt drehte ſich die Hülle, dann ſtand ſie ſtill und nahm darauf entgegengeſetzte Drehung an, endlich nahm ſie eine langſame Drehung an und zwar gleichlaufend mit dem Kreuz.

Aehnliche Einwürfe gegen die directe Wirkung des Lichtes und der ſtrahlenden Wärme erſcheinen begründet bei G. Salet, *Compt. rend. T. 82.* S. 1500. *Compt. rend. T. 83.* S. 273. Ein Radiometer, welcher aus Silber und durchſichtigen Glimmerplatten conſtruirt iſt, bewegt ſich mit der Glimmerſeite nach vorn, die Silberfläche wird unter dem Einfluß des Lichtes zurückgeſtoßen. Dieſer Radiometer zeigt im Waſſer von 30—40°, wo er nur dunkle Strahlen erhält, die umgekehrte Richtung (die Silberfläche voraus). Im Eis zeigt er dieſelbe Richtung wie in dem Licht. Ein Radiometer aus Aluminium und geſchwärzten Glimmerplatten bewegt ſich im Licht ſo, daß das Metall vorangeht. Dunkle Wärme und noch ſo intenſives Licht ändern dieſe Richtung nicht. In Eis aber tritt eine Umkehrung der Richtung ein. Ein Radiometer aus Aluminium und nicht geſchwärztem Glimmer bewegt im Licht die Glimmerfläche voran, im Eis wie im Lichte. Die dunkle Wärme bewirkt, daß die entgegengeſetzte Richtung eingehalten wird. Ein Radiometer, deſſen Flügel aus Silber und Aluminium gebildet waren, wurde auf 440° erwärmt, während die Evacuation der Hülle erfolgt. Er wird unempfindlich, er reagirt aber, wenn das Vacuum bei gewöhnlicher Temperatur hergeſtellt wird. Unter den gleichen Bedingungen der Erwärmung (440°) tritt die Unempfindlichkeit nicht ein, wenn man die Hälfte der Flügel mit Metall, die andere mit Glimmer bedeckt. Endlich zeigten Radiometer, deren Flügel aus Glimmer und roth, grün, blau gefirnißten Kupferplatten gebildet waren, keine Unterſchiede.

Böttger, Bericht der deutſchen chemiſchen Geſellſchaft. Bd. IX. S. 798. Der Radiometer zeigt keine Reaction im Licht der Geissler'ſchen Röhren, ebenſowenig im Licht der Gasflammen, wenn Alaunkryſtalle eingeſchaltet ſind, ebenſo wenn zwiſchen dem

Andererſeits muß die Waldluft auch bei der Einſtrahlung ſich beträchtlich langſamer erwärmen wie die Luft über der nackten Erdfläche. Von Blattſchicht zu Blattſchicht verliert der Strahl an Intenſität. Selbſt ſchon die einfache Blattlage mindert dieſelbe beträchtlich herab. Im Allgemeinen iſt darin der regulirende Einfluß großer Waldmaſſen auf die thermiſchen Verhältniſſe eines Landes begründet, daß der Ausgleich durch Strahlung verlangſamt wird, weil die Luft durch athermane Blattlagen in Schichten geſondert iſt, welchen der Ausgleich durch Strömung erſchwert iſt.

Ganz anders geſtaltet ſich die Sache im Winter in dem unbelaubten Wald. Tritt bei naſſer Luft plötzlich klares Wetter ein, ſo ſtrahlen die

---

Radiometer und der Lichtquelle eine 3 cm dicke Waſſerſchicht eingeſchaltet wird. Das directe Tageslicht ſtößt die ſchwarzen Seiten ab, im Waſſer tritt die umgekehrte Bewegung ein, bis er ſtillſteht.

G. Govi ſetzt einen empfindlichen Radiometer aus polirten Aluminiumplatten und geſchwärztem Glimmer in einem Glascylinder zuſammen und leitet Waſſerdampf hindurch. Sofort tritt raſche Bewegung ein, die Aluminiumflächen gehen voran. Die Bewegung verlangſamt ſich. Bei conſtanter Temperatur tritt Ruhe ein. Sofort tritt wieder Bewegung ein, ſobald das Einleiten des Dampfes aufhörte und zwar in umgekehrter Richtung. Ein ſtillſtehender Radiometer wird ebenſo zur Bewegung in umgekehrter Richtung gebracht, wenn er in kaltes Waſſer eingetaucht wird.

E. Wartmann (*Arch. des scienc. phys. et nat.* Bd. 55. S. 313. 1876) wandte zwei Radiometer zu Differenzverſuchen an: der eine (*A*) beſitzt kreisförmige, der andere (*B*) beſitzt quadratiſche Flügel. Beide rotiren bei höherer Temperatur, ſo daß die ſchwarzen Flügel abgeſtoßen erſcheinen. Ein vollkommener Gegenſatz tritt zwiſchen *A* und *B* ein, wenn man die ſchwarzen Flächen verdeckt und die anderen der Sonne ausſetzt. *A* rotirt direct, *B* in entgegengeſetztem Sinne. Soll auch *A* umgekehrt rotiren, ſo muß das Licht mittelſt einer Linſe auf die unbedeckten Flächen concentrirt werden. Verf. macht darauf aufmerkſam, daß die größte Geſchwindigkeit bei ſenkrechtem Einfall auf die ſchwarzen Flächen eintritt. Mittelſt zweier Lampen, welche auf die entgegengeſetzten Seiten eines Flügels wirken, zeigt Verf., daß vollſtändige Neutralität eintreten kann. Die Rotation tritt ein, wenn das Inſtrument durch einen glühenden Ring beſtrahlt wird, deſſen Ebene mit der Ebene der Flügelarme zuſammenfällt. Das Einſchalten einer Alaunplatte ſchwächt die Bewegung beträchtlich.

Crookes fand für das Sonnenſpectrum die größte Wirkung im Ultraroth, die kleinſte im Ultraviolett. Bezüglich der Wirkungen können Ultraroth mit 100, Aeußerſtroth mit 85, Roth mit 73, Orange mit 66, Gelb mit 57, Grün mit 41, Blau mit 22, Indigo mit 8,5, Violet mit 6, Ultraviolett mit 5 dargeſtellt werden.

Poggendorff, Annal. 1876. 7. S. 483. Notiz zur Geſchichte des Radiometers. Von Dr. G. Berthold (Ronsdorf).

Poggendorff, Annal. 1876. 8. S. 572. Ueber den Radiometer von Crookes. Von R. Finkner. Verfaſſer unterſucht das Verhalten der Radiometer bei verändertem Drucke der Gaſe und Beſtrahlung und ſtellt eine Theorie der Bewegung auf. Er verbindet den Recipienten mit einer Queckſilberluftpumpe und beſtimmt die Drehungsgeſchwindigkeit unter dem Einfluß einer Gaslampe ohne Reflector und Linſe, indem er die Entfernung der Lampe und den Druck verſchiedener Gaſe variirt. Aus den Verſuchen ergiebt ſich: Bei

blattlosen Zweige rasch die Wärme aus, gleichzeitig leiten sie die Wärme aus tieferen Theilen des Baumes so schlecht, daß mächtige Eisniederschläge in dem Zweigsystem gebildet werden.

VI.

Die Erwärmung der pflanzlichen Blätter, Zweige und fleischiger Theile ist bei directer Bestrahlung durch die Sonne eine sehr beträchtliche. Durch Versuche wurde die Erwärmung der isolirten Blätter verglichen mit solchen Blättern gleicher Art, welche, an dem Zweige befindlich, während der Bestrahlung Wasser verdunsteten: das abgeschnittene Blatt von Castanea wurde um das Gefäß eines Thermometers gewickelt und dieser an einem klaren Augusttag bestrahlt (t), zu gleicher Zeit wurde der Kastanienzweig in Wasser gestellt, eines seiner Blätter um das Gefäß eines zweiten Thermometers (t^1) gewickelt, die Temperaturzuwachse wurden mit den Schwankungen eines freien bestrahlten Thermometers (t^2) verglichen. Die Thermometer waren von gleicher Construction und waren innerhalb der Temperaturgrade 0 und 100 calibrirt. Nach 40 Minuten zeigten sie:

$$t\ 37{,}1^0,\quad t^1\ 33{,}6^0,\quad t^2\ 30{,}6^0.$$

Das verdunstende Blatt hatte somit eine um $3{,}5^0$ C. niederere Temperatur wie das abgeschnittene. Innerhalb dieser 40 Minuten war ein ganz ähnlicher Thermometer (t^3) in einen ausgehöhlten unreifen Apfel gesteckt (die Dicke der zu durchstrahlenden Apfelmasse betrug 3 cm), und ein weiterer (t^4) in einen ausgehöhlten Hollunderzweig. Diese zeigten:

$$t^3\ 35{,}5^0,\qquad t^4\ 32{,}5^0.$$

---

nicht zu weit getriebener Verdünnung findet bei gleicher Erwärmung dieselbe Bewegung bei einem specifisch leichteren Gase bei größerem Drucke statt, als bei einem schweren Gase. Das Drehungsmoment, welches durch eine Flamme ausgeübt wird, wächst unter übrigens gleichen Umständen zunächst mit der Verdünnung der Gase, nimmt aber bei weiterer Verdünnung wieder ab. Das Maximum der Bewegung tritt für Wasserstoff bei höherem Drucke ein als bei Luft und Kohlensäure. Verf. bringt nun den Radiometer mit einem Sauerstoffentbindungsapparat in Verbindung, evacuirt, spült den Raum mit Sauerstoff aus, absorbirt den Rest dieses Gases mit Kupfer und erreicht somit eine möglichst vollständige Evacuation, und führt aus den Beobachtungen der Drehungsgeschwindigkeit den Nachweis: Die strahlende Wärme wirkt nicht direct abstoßend auf die berußten Flügel, so daß dadurch die Bewegung zu Stande käme; sie bedarf eines Gases zum Uebertragen dieser Wirkung. Die Bewegung kommt, so lange das Gas mäßig verdünnt ist, durch einen auf die Ränder der Flügel ausgeübten Einfluß zu Stande; dieser Einfluß wächst, wenn die Scheiben durchbrochen sind. Bei dem Radiometer mit vollen Flügeln bei gleicher Bestrahlung und gleichem Druck erfordert die Drehung 40 Secunden, während sie für die durchbrochenen nur 21 Secunden bedarf. Der Unterschied in der Drehung in dem einen und andern Fall ist derartig, daß er nicht erklärt werden kann durch die Abnahme des Widerstandes in Folge des geringeren Flächeninhaltes. Das Drehungsmoment ist bei dem durchbrochenen größer geworden.

Die Dicke der durchstrahlten Rinden und Holzschicht betrug 4 mm. Nachdem selbst nach einstündiger Bestrahlung die Temperaturen nur noch wenig schwankten, wurden alle fünf Thermometer mit den anhaftenden Pflanzentheilen in den Schatten gebracht. Nach 52 Minuten sank die Temperatur in:

t 28,9°, t^1 27,5°, t^2 28°, t^3 31,5°, t^4 28,2°.

Der Pyrheliometer zeigte während der Versuchszeit an zwei Ablesungen zuerst bei directer Bestrahlung von 3 Minuten einen Temperaturzuwachs von 2° C. und darauf eine Abnahme von 0° während der Beschattung von 3 Minuten. Im zweiten Versuch während 2,5 Minuten der Bestrahlung, Zuwachs von 1,3° C. und Abnahme während 3 Minuten der Beschattung von 0,5° C.

VII.

Draußen im Laubwald machen sich dem constanten Einfluß der Strahlung gegenüber individuelle Ungleichheiten geltend, welche nicht direct auf die gegenseitige Beschattung zurückgeführt werden können. So entwickeln sich die Knospen der unterdrückten Buchen im Frühling etwas rascher wie diejenigen der stärkeren Bäume. An einem und demselben Baume werden die Blätter mehrere Tage früher an der Innenseite entwickelt gegenüber der Außenseite, Fig. 471. Auch an sehr hohen Parkbäumen eilen die unteren Aeste in der Frühlingsperiode merklich gegenüber den höheren voraus. Dieß ist zum Theil darin begründet, daß gerade vor der vollen Belaubung die unteren Bäume, beziehentlich die unteren Aeste eines Baumes, besser gegen die Ausstrahlung geschützt sind, zum anderen Theil vielleicht darin, daß die flachbewurzelten Individuen rascher die höhere Temperatur der äußeren Schalen des Bodens genießen, wie die tiefer bewurzelten.

A. Grenzen der Temperatur[1]).

Die Vegetation der Erde breitet sich aus von dem Aequator nach den beeisten Polen, von den Tiefebenen bis zu den höchsten Zinnen des Hochgebirges. Die höchsten aus den Eis- und Schneemänteln hervorragenden Felszähne unserer Hochalpen sind noch besiedelt von niederen Flechten. In den meilenweiten Gletschern des Finsteraarhorngebietes, des Monte-Rosa und des Montblanc finden sich in dem Eise, auf dem feinsten Gletscherschlamm, noch Chroococcaceen. Die arctischen Rhododendren, Salices, Bryaceen u. a. m. ertragen eine Kälte bis —40°, ohne daß die Raçen in ihrer Existenz wesentlich gefährdet sind. Andererseits sind Oscillarien und

[1]) H. R. Göppert, Höhe der Kältegrade, welche die Vegetation überhaupt erträgt. 49. 65. Wann stirbt die durch Frost getödtete Pflanze, zur Zeit des Gefrierens oder im Moment des Aufthauens? 399. Bot. Ztg. 71.

Diatomen in den Thermen Californiens exiſtenzfähig bei 70° C. Es ergiebt ſich ſomit für die Geſammtheit der Vegetationsproceſſe an der Erde ein Temperaturintervall von 110° C.

B. Geringere Biegsamkeit wie beim Thier.

Nun findet man an jenen Orten der Temperaturextreme (Thermen, heiße Himmelsſtriche einerſeits; für unendliche Zeiträume vereiſte Gegenden der Pole, der Gletſchergebiete andererſeits) das Thierleben einmal ſo vertreten, daß man annehmen muß, die in dem Eiſe vorkommenden niederen Thiere, Infuſorien und Eier höherer Inſecten ſinken in der That mit ihrer Körperwärme auf die Temperatur des umgebenden Medium. Im Großen und Ganzen macht ſich aber doch ein in der Eigenwärme begründeter Zug für beide Reiche in durchſchlagender Weiſe geltend:



Fig. 471. *A.* Knoſpe an der äußeren Seite eines Aſtes, *B.* an der innern Seite desſelben Aſtes im April.

Die höheren Thiere ertragen nicht eine Schwankung von mehreren Graden in der Blutwärme und bringen es gleichwohl dahin, daß ſie die arctiſche und hochalpine Region bewohnen. Die höheren Pflanzen ertragen aber eine Temperaturſchwankung aller ihrer Theile von mindeſtens 30 bis 50° C. (innerhalb welcher der Gefrierpunkt des Waſſers liegt) und dringen nicht ſo weit vor wie das Thier.

Dieß aber iſt lediglich in mechaniſchen Hinderniſſen begründet. Gletſcher, Eis und Schnee, nackte Felsmaſſen machen eben die Exiſtenz wurzelnder Pflanzen an ſich unmöglich. In der That iſt die Eisregion[1])

[1]) Für uns ganz nahe belegene Studienreviere ſind: Rhonegebiet, die Gletſcherarme des Aletſchgletſchers, die Eisregion von Chermontane im Bagnethal mit dem Uebergang nach Aoſta, Zermatt und Einfiſchthal mit dem Uebergang über das Weißthor nach Val

unſerer hochalpinen Gegend nur von Flechten und niederſten Algen über meilenweite Strecken allein bewohnt. Von höheren Thieren iſt im Gletſchereis nur die Desoria glacialis heimiſch, wenn von den gelegentlichen Wanderungen der Säugethiere aus der Region der Baumgrenze und den durch Wind verſchlagenen Inſecten, wie ſelbſtredend, abgeſehen wird.

C. Schutz gegen die Strahlung, Haare.

Ein dicht filzig behaartes Laubblatt läßt den Wärmeſtrahl nur ſehr geſchwächt hindurch, umgekehrt ſchützt die Behaarung gegen die Erkältung durch Ausſtrahlung. Eine große Anzahl unſerer Waldbäume ſchützt die jugendlichen Blatt- und Zweigorgane, ſo lange ſie in der Knoſpe verharren, durch dicht geſtellte Haare, welche bei der Streckung auf eine größere Fläche gebracht werden und bei vielen ſchließlich abfallen. Eine große Anzahl hochalpiner Pflanzen zeichnet ſich durch dichte Behaarung aus, in erſter Linie die Compoſiten. Gerade in den Hochalpen bewirkt die Strahlung den raſcheſten Temperaturwechſel in den weiteſten Grenzen. Man wird nicht zu hoch greifen, wenn man das Temperaturintervall, welches die beſtrahlten Gletſcherpflanzen in hoher Lage innerhalb weniger Minuten erfahren können, auf 30—40° C. annimmt.

D. Durchstrahlung und Diffusion der Wärmestrahlen.

Die verhältnißmäßig große Undurchläſſigkeit des Laubblattes für Wärmeſtrahlen zwingt die baumartigen Pflanzen, die abſorbirenden Flächen möglichſt gleichmäßig über den gewonnenen Raum ſo zu vertheilen, daß die Extreme der Beſchattung vermieden werden. Viele Bäume, welche dieß nicht erreichen, ſo als ganz in die Augen ſpringende Beiſpiele die großblättrigen Catalpen, Paulownia, Pavia, Aesculus, zeichnen ſich durch ganz lockere Beaſtung und Beblätterung aus, das mittlere Verhältniß erreichen die geſelligen Laubbäume der gemäßigten Zone, die Nadelhölzer, durch die äußerſte Kleinheit und größte Zahl der Blätter (Nadeln) bei vortheilhafteſter Vertheilung.

Bei der directen Beſtrahlung der Thermoſäule mittelſt einer Lampe und eines Kugelreflectors erhielt ich den Ausſchlag der Nadel zu 85°. Die Einſchaltung eines Laubblattes von Viburnum Tinus ergiebt 42°,

eine Glasplatte an Stelle des Blattes 65°,
zwei Glasplatten » » » » 55°,
drei » » » » » 44°.

---

d'Anzasca und dem Lago Maggiore. Das Studienrevier von der Rhonemündung in den Lemanſee aufwärts bis zu den Eisregionen des Weißthors und hinab nach der Lombardiſchen Ebene giebt den beſten Ueberblick über Vegetationsgrenzen nach dem Temperaturminimum zu.

Es gehören somit etwa 3 Glasscheiben dazu, um denselben Effect in der Absorption zu erzielen, wie in einem einzigen Laubblatte.

E. Beschattung und Grösse des Laubblattes.

Die Beschattung der Pflanze, insbesondere der Baumkrone in sich selbst, bewirkt, daß die tieferen Blattgebilde in der Ausbildung beeinträchtigt werden. Jedes tieferstehende Blatt steht in gewissem Sinne im Kampf

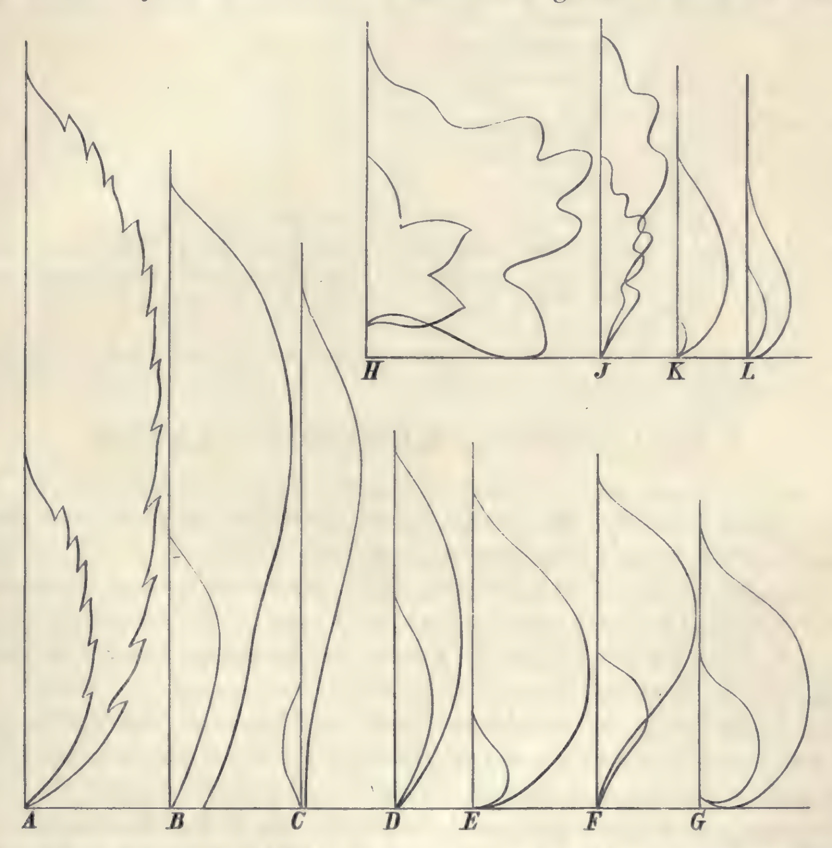


FIG. 472. Verhältniß der größten und kleinsten Blattfläche. *A* Castanea vesca. *B* Aesculus hippocastanum. *C* Pavia lutea. *D* Fagus silvatica. *E* Alnus incana. *F* Alnus glutinosa. *G* Tilia europæa. *H* Acer platanoides. *J* Quercus pedunc. *K* Ulme. *L* Betula alba.

um Licht und Existenz mit dem höheren schattenwerfenden. Die verschiedenen Baumarten zeigen in dieser Hinsicht eine verschiedene Empfindlichkeit, welche wohl herausgefunden werden kann, wenn man an zahlreichen Zweigen den mittleren Werth der größten und kleinsten Blattfläche vergleicht. Solche Messungen sind in der Figur 472 veranschaulicht. Es ist die größte und die kleinste Blattfläche dort verzeichnet:

Zunächſt ſchwanken die Gewichte der Blätter in weiten Grenzen. Setzen wir in der nachfolgenden Tabelle das Gewicht der kleinſten Fläche gleich eins, ſo verhalten ſich die Gewichte der größten Fläche wie:

Pappel	1,16,
Birke	2,50,
Eiche	2,6,
Kaſtanie	3,43,
Buche	3,72,
Alnus viridis	4,00,
Linde	4,10,
Alnus glutin.	4,67,
Spitzahorn	4,71,
Alnus incana	6,00,
Hainbuche	6,42,
Roßkaſtanie	7,23,
Pavia	17,11,
Ulme	23,33.

Ulme und Roßkaſtanie haben das Extinctionsvermögen von 2,166 für die Strahlengruppe *BC*, bezogen auf die Buche als Einheit (ſ. oben S. 499). Es wirkt hier alſo vorzugsweiſe das Licht und wohl erſt in zweiter Linie die dunkle Wärme.

---

§ 41. Temperatur als Bedingung des Lebens.

Wenn einem Körper dunkle Wärme zugeführt wird, ſo wird dieſe in zwei Arten von Arbeit verwandt:

1⁰ der Körper dehnt ſich aus, d. h. die Anziehungskräfte zwiſchen den kleinſten Theilchen werden überwunden; äußere Arbeit;

2⁰ die kleinſten Theilchen werden in Bewegung geſetzt, es möge dieß eine ſchwingende Molecularbewegung ſein.

Es giebt nun, wie aus der mechaniſchen Theorie der Wärme bekannt iſt (und wie aus den früheren Abhandlungen, ſ. oben S. 480, erhellt), keine Methode, die innere Arbeit durch Wärmeeinheiten auszudrücken; mit Ausnahme derjenigen Wärmemengen, welche bei den Uebergängen eines und desſelben Körpers durch die drei Aggregate zum Vorſchein kommen (latente Wärme). Wählen wir als Beiſpiel das Waſſer als die Subſtanz, welche in der Pflanze in allen drei Aggregatzuſtänden vorkommt.

Führen wir die gegebene Waſſermaſſe durch die Temperaturen von 0 in der Richtung nach $+ 100^0$ C., ſo erreichen wir, daß ſie proportional der zugeführten Wärmemenge dünnflüſſiger wird, daß ihre Theilchen ſich gegenſeitig leichter verſchieben, ſich gegenſeitig raſcher bewegen. Außerdem aber vermag ſie dieſe Bewegung an das Inſtrument zu übertragen, welches wir benutzen, um die Temperatur zu beſtimmen: das Queckſilber

des Thermometers nämlich geräth in einen ähnlichen Zuſtand, wenn wir es in das erwärmte Waſſer bringen wie dieſes ſelbſt. Die äußere Arbeit beſteht in der Volumvergrößerung der gegebenen Waſſermaſſe. Beide Zuwachſe molecularer Bewegung ſtellen ſich die Phyſiker als genau proportional der zugeführten Wärmemenge vor. Bei hundert Grad angekommen ſteigt die Bewegung des Thermometers nicht mehr, trotzdem nun ſtetig

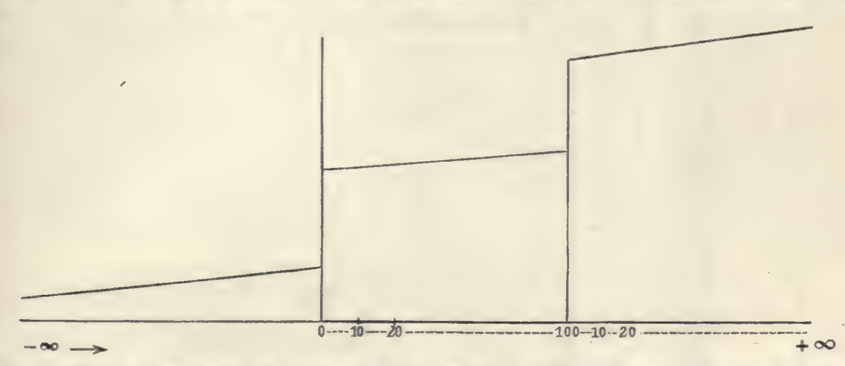


Fig. 473. Schema der Function der Wärmezufuhr zu einer begrenzten Waſſermaſſe. Von — ∞ nach 0° des Celſiusthermometers ſoll der Waſſermaſſe aus einem ſehr großen Wärmereſervoir poſitive Wärme zugeführt werden. Dieſe Wärmezufuhr iſt proportional dem in der Maſſe wahrnehmbaren Temperaturzuwachſe bis 0°. Von nun ab tritt für die gleiche Wärmezufuhr kein Temperaturzuwachs ein, was dadurch dargeſtellt iſt, daß der Ordinatenwerth plötzlich ſteigt. Ebenſo verhält es ſich bei 100°.

noch Wärme zugeführt wird. Das Waſſer bleibt aber auch nicht mehr flüſſig, es geht in den Gaszuſtand über. Die Theilchen ſtoßen ſich gegenſeitig ab, die zugeführte Wärmemenge verſchwindet für die thermometriſche Wahrnehmung. Sie wird nach derſelben Vorſtellung wie oben verbraucht, um die Cohäſion der kleinſten Theile aufzuheben (Wärme wird latent). Wärme verrichtet äußere Arbeit.

Führen wir umgekehrt die Waſſermaſſe von 100° nach 0° C. hin, ſo iſt ſelbſtredend, daß dasſelbe Maß Wärme, welches auf dem Hinweg nach 100° C. zugeführt wurde, jetzt aus der Maſſe herausgezogen werden kann. Je mehr dieß geſchieht, um ſo ſchwerflüſſiger wird die Maſſe und deſto weniger vermag ſie die innere ſchwingende Bewegung der Molecüle an die Queckſilbermaſſe des Thermometers zu übertragen.

A. Geringe Eigenwärme.

Die Pflanze beſitzt eine geringe Eigenwärme. Entſprechend der Anſammlung ſtrahlender Wärme und der Umſetzung derſelben in die chemiſche Spannkraft der verbrennlichen Aſſimilationsproducte iſt ihre Verbrennung außerordentlich klein. Die bei uns einheimiſchen Pflanzen vereiſen vollſtändig in ſtrengen Wintern. Dieß zeigt ſich namentlich bei unſeren Waldbäumen. In dem Zeitintervall von 4 Wochen können beide Bewegungen,

Vereifung und Translocation der Stärke, liegen. Ein Unterfchied von 20 bis 30° C. im Innern der Bäume im Zeitraum weniger Tage der Frühlingsperiode ift kein feltenes Vorkommniß.

Die vegetativen Organe zeigen im ausgewachfenen Zuftand, wenn fie nicht beftrahlt find, meift die Temperatur der Umgebung oder eine etwas niederere.

Bei der Keimung, der Knofpenentwickelung und während der Blüthezeit fteigt die Verbrennung und dementfprechend die Temperatur an folchen Orten, wo fie zufammengehalten wird, wie in den Knofpen, den Blüthenfcheiden der Colocafien, Caladien und in großen Blüthenhüllen.

Im Uebrigen gilt für alle höheren Pflanzen: So unvollkommen in dem Apparat die Einrichtung ift für die Einftrahlung, eben fo vollkommen ift er für die Ausftrahlung. Alle Pflanzengewebe aber find fchlechte Wärmeleiter.

Die Temperatur in dem Kolben eines Arum maculatum beträgt:

Zeit.	T. Luft.	T. Kolben.
3 Uhr Nachm.	15,6°	16,1°
5 » »	14,7°	17,9°
5³/4 » »	15,0°	19,8°
6¹/4 » »	15,0°	21,0°
6³/4 » »	14,9°	21,8°
7 » »	14,3°	21,2°.

Bei Caladium ift der größte Unterfchied der Temperatur im Innern der Pflanze und der Luft etwa 6° C.

Zu Meffungen über die Eigenwärme kann man die Vorrichtung Fig. 473 in Anwendung bringen. In *A* wurde in einen künftlichen Einfchnitt an einer rafchwüchfigen Daturapflanze eine Thermofäule eingefetzt, mit Gypsftuck befeftigt. Die Ausfchläge am Thermomultiplicator find fehr klein.

B. Athmung[1]).

Die Lebenserfcheinungen find abhängig von dem Vorgang der Verbrennung. Das einzige Verbrennungsproduct, welches für die Analyfe zugänglich, ift die Kohlenfäure. Die Athmungsgröße wird in der Kohlenfäuremenge bemeffen, welche in der Zeiteinheit von lebenden Pflanzen ausgefchieden wird. Im Allgemeinen ift diefelbe bei ausgewachfenen Pflanzentheilen fchwächer, fie fteigt bei folchen, welche in Streckung befindlich find. Die Athmung wächft bis zu gewiffer Grenze mit der Temperatur.

---

¹) Prof. Dr. Jos. Bœhm, Ueber die Refpiration von Landpflanzen. Abdr. aus dem Sitzungsber. d. k. Acad. d. Wiffenfch. 1873. — Wolkoff und Ad. Mayer, Beiträge zur Lehre über die Athmung der Pflanzen. Landw. Jahrb. III. — J. Bœhm, Refpiration der Wafferpflanzen. Abdr. a. d. Sitzungsber. d. k. Acad. d. Wiffenfch. Wien 1875.

Sie ift wohl unabhängig von dem Lichte, dafern bei der Beleuchtung nicht ein Temperaturzuwachs eintritt und dafern nicht die Affimilation in grünen Pflanzentheilen, welche den umgekehrten Proceß, die Reduction der Kohlenfäure, herbeiführt, eine Rolle fpielt. Der Sauerftoffbedarf ift für die Blüthen am größten. In diefen find wieder die Gefchlechtsapparate diejenigen, welche am meiften Sauerftoff verbrauchen, fo wurden für dasfelbe Volum der Organe von Hibiscus fpeciofus verbraucht an Sauerftoff:

Blüthe 11,0 ccm, Blätter 4 ccm,
Gefchlechtsorgane 18 ccm.

Wolkoff und Mayer bedienten fich zu einem eingehenderen Studium über die Athmung eines Apparates von diefer Befchaffenheit: ftatt der einfachen Abforptionsröhren wandten fie U-förmige Röhren an; der eine Schenkel derfelben ift erweitert und dient als Recipient für die Pflanzentheile, welche in kleinen Glasgefäßen eingeführt werden, der andere Schenkel ift getheilt und calibrirt. An ihm wird die Abforption der Kohlenfäure abgelefen. Diefe Röhren werden in einer Queckfilberwanne aufgeftellt, der Recipient wird unten luftdicht verfchloffen. In die calibrirte Röhre wird etwas Natron oder Kalilauge gegeben. Der Apparat wird in einem Wafferbad auf die gewünfchten Temperaturen gebracht[1]).

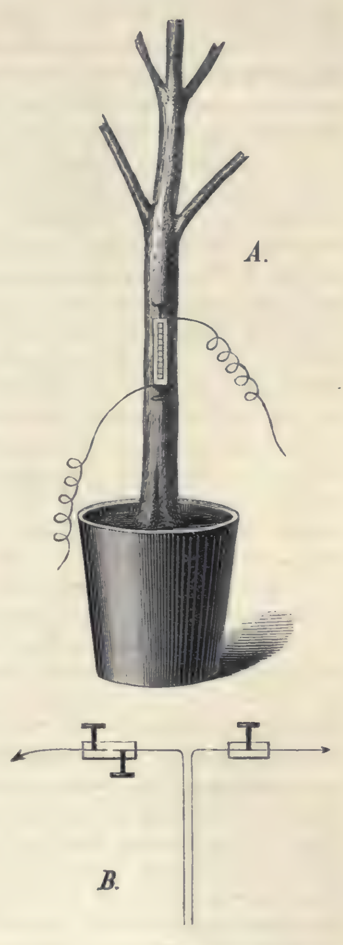


Fig. 474. *A.* Eine Thermofäule, am Stamm einer Datürapflanze eingelaffen. *B.* Eine Nadel, welche aus einem Antimon- und Wismuthftreifen zufammengelöthet ift, in Richtung der Pfeile mit dem Multiplicator verbunden.

Man kann fich auch der nachfolgend befchriebenen Vorrichtung bedienen:

Der Theil des Apparates, welcher die analytifchen Arbeiten wefentlich erleichtert, befteht in fechs

---

[1]) Th. Saussure (*Ann. des scienc. 1834. II.* S. 270. *Altération de l'air* u. f. f.) unterfuchte die Veränderung des Gafes, in welchem Pflanzenfamen keimen. Schon Scheele hatte bei keimenden Erbfen gefunden, daß das Volum der Gafe nicht verändert wird durch die Abforption (Verbrennung) des Sauerftoffes. Saussure kommt zu demfelben Refultat. Ellis aber findet, daß das verfchwindende Volum Sauerftoff größer ift als das auftretende Volum Kohlenfäure. Keimungen in atmofphärifcher Luft weichen ab von Keimungen in Sauerftoff; in den letzteren ift die Abforption von Sauerftoff größer als die Ausfchei-

Glashähnen, jeder Hahn mit dreifacher Durchbohrung. Durch einen dieser Hähne ist man in der Lage, in Verbindung zu bringen:

1° den Recipienten, welcher die Versuchspflanzen enthält, mit dem Absorptionsrohr, in welchem die Ablesung gemacht wird;

2° das Absorptionsrohr mit der Röhrenleitung, welche nach einem luftverdünnten Raume führt. Dieser wird durch eine Quecksilberluftpumpe hergestellt und erhalten;

3° erlaubt der Hahn, ein rechtwinkliges Abzugsrohr mit den Recipienten für die Versuchspflanzen zu verbinden.

Die sechs Hähne ruhen in der Rinne eines Holzgestelles, in welcher sie durch Quecksilber an dem unteren Ende von der Atmosphäre abgesperrt sind. Die Hülse von Glas, in welche die beiden rechtwinklig gebogenen Röhren in dem Buge des U-Rohres einmünden, wo sie mit den Durchbohrungen des Hahnes in Verbindung gebracht werden können, erlaubt, daß man durch eine mit Quecksilbersublimatlösung bedeckte Quecksilbermasse auch den oberen Theil des Hahnes von der Atmosphäre abschließt.

Die Recipienten, welche die Versuchspflanzen aufnehmen, sind Glascylinder von 30 ccm Inhalt. Sie führen durch einen Kautschukpfropfer nach zwei Röhren. Die eine ist das mit dem Hahn in Verbindung stehende Absorptionsrohr, die andere rechtwinklig gebogene besitzt an seinem Ende ein Bunsen'sches Ventil, welches mit einem der Röhrchen in der gemeinschaftlichen Gasleitung verbunden werden kann. Diese letztere führt nach einem gegen 50 l haltenden Gasometer. Mit dieser Batterie kann man sechs Gasanalysen ausführen, während die Versuchspflanzen in den Recipienten athmen. Durch die Analyse der Gase ist der Versuch nicht unterbrochen. Eine Versuchsreihe mag in dem folgenden Sinne verlaufen:

Die Recipienten werden mit den sechs Versuchspflanzen beschickt und durch den Kautschukpfropfer geschlossen. Die Bunsen'schen Ventile werden mit der gemeinschaftlichen Gasleitung in Verbindung gebracht, die Hähne werden so gestellt, daß die Luft aus den Recipienten nach den rechtwinkligen Röhren ausströmen kann. Der Glashahn wird geöffnet, nun strömt aus dem Gasometer das Gasgemisch so lange durch das System, bis alle atmosphärische Luft verdrängt ist. Jetzt werden die Bunsen'schen Ventile geschlossen und die sechs Glashähne so gestellt, daß die Durchbohrungen mit keinem Theil des Apparates in Verbindung stehen. Während der Dauer des Versuches wird das Quecksilbertrommelgebläse in Bewegung gesetzt und stellt einen von der Röhrenleitung durch einen Hahn getrennten luftverdünnten Raum her, welcher mit einem Manometer in Verbindung steht. Es möge die Evacuation desselben auf 500 oder 600 mm Quecksilberstand in dem Manometer vorgeschritten sein, so ist das Volum der Flasche, in welchem das Vacuum hergestellt ist, so gewählt, daß, wenn die Luft aus den Absorptionsröhren in das Vacuum strömt, der Stand am Manometer nur wenig geändert wird. Soll nun zur Analyse der Gase geschritten werden, welche von den Pflanzen in dem Recipienten in einem bestimmten Sinne verändert wurden, so werden die Glashähne so gestellt, daß die Absorptionsröhren mit den Röhren in Verbindung gerathen, welche nach dem Vacuum führen. Ist dieß für eine beliebige

---

dung von Kohlensäure. In den Versuchen findet Boussingault, daß in verschiedenen Phasen der Keimung zum Theil das Volum des CO_2 über das des O (I. Phase), oder umgekehrt (II. Phase) überwiegt bei der Keimung in Luft. Keimende Bohnen, Roggen und andere in reinem Sauerstoff gaben die folgenden Resultate: Alle angewandten Samen absorbiren durch die Keimung Sauerstoff, sowohl in reinem Sauerstoff wie in der Luft. Diese Absorption in der Luft kann nicht immer beobachtet werden, weil sie maskirt ist durch den Sauerstoff und die Kohlensäure, welche durch die Verbrennung des Sauerstoffs erzeugt wird. Im Ganzen sind die Schwankungen der Volume klein.

oder für alle Röhren geſchehen, ſo wird der Glashahn geöffnet, und die Abſorptionsröhren füllen ſich mit Queckſilber. Jetzt wird der Glashahn nach dem Vacuum zu geſchloſſen, und die Hähne werden ſo geſtellt, daß die Recipienten mit dem queckſilbergefüllten Abſorptionsrohr in Verbindung ſtehen. Es tritt etwas Gas aus den erſteren in die letzteren über, und die Glashähne werden wieder außer Verbindung mit allen Hohlräumen gebracht. Das ſo übergeführte Gasvolum kann nunmehr analyſirt werden, ohne daß der Verſuch in den Recipienten unterbrochen wird. Es muß bemerkt werden, daß das Volum der Recipienten ſo gewählt iſt, daß eine für den Zweck der Analyſe genügende Menge Gas nach dem Abſorptionsrohr übertreten kann.

Als Beiſpiele für die Athmungsgröße mögen dieſe Angaben der Wolkoff- und Mayer'ſchen Abhandlung entnommen ſein:

I.

Die Keimpflanzen von vier Buchweizenkeimlingen im Geſammtgewicht von 0,12 g verbrauchten bei den Temperaturen von 19—20° C. in drei Tagen aus einem Volum Luft von nahezu 25 ccm 2,4 ccm Sauerſtoff.

II.

Die Abhängigkeit von der Temperatur ergab ſich bei einer Keimpflanze von Tropæolum majus:

in der Stunde bei 16,2° C. zu 0,53 ccm
» » » » 25,4° C. » 0,76 »
» » » » 32,8° C. » 1,00 ».

III.

Ein raſcher Temperaturwechſel beeinflußt die Keimpflanzen nicht weſentlich anders, als daß ſehr bald die Athmungsgröße, welche der neuen Temperatur entſpricht, eingehalten wird. Bis in die Nähe von 35° C. ſteigt dieſelbe nahezu proportional der Temperatur.

IV.

Die Athmung oder beſſer geſagt die Kohlenſäurebildung raſch getödteter Pflanzentheile iſt wenigſtens für kurze Zeit nach dem Tod verſchwindend klein gegenüber dem lebenden Zuſtande.

V.

In Folge der Athmung wird die Luft im Holz der Bäume weſentlich kohlenſäurereicher. So enthält die aus lebenden Zweigen ausgepumpte Luft, nach Böhm, 30% Kohlenſäure, während der Sauerſtoffgehalt geringer iſt. Auch Böhm macht darauf aufmerkſam, daß im Zeitraum von 6—7 Stunden in getödteten Zweigen nur unbedeutende Mengen Kohlenſäure gebildet werden. Auch in gefrorenen, vereiſten Zweigen iſt die Luft ſauerſtoffärmer und kohlenſäurereicher als die Atmoſphäre.

VI.

Ad. Mayer[1]) weist nach, daß die Sauerstoffausscheidung unabhängig von der Kohlensäureaufnahme erfolgen kann, da der Pflanze noch die Reduction der organischen Säuren zur Verfügung steht, welche zum Theil in krystallinischen Salzen niedergeschlagen sind. Umgekehrt wird von demselben Forscher und von Bœhm auf die innere Athmung aufmerksam gemacht. Bei diesem Vorgang wird Kohlensäure bei Abschluß von Sauerstoff ausgeschieden.

§ 42. Phosphorescenz[2]).

Die Beobachtungen über Ausstrahlung von Eigenlicht an anorganen Körpern bei den Schwefel- und Phosphorverbindungen des Calcium, Strontium, Barium haben ergeben, daß die Phosphorescenz von einer vorherigen Insolation abhängig ist.

An organischen Körpern wurde das Leuchten beobachtet an faulen Fischen, an gehacktem Schweinefleisch, faulem Holz, an den Rhizomorphen. Luftzutritt ist die wesentliche Bedingung einer hier vor sich gehenden Verbrennung. Unter der Luftpumpe verschwindet die Phosphorescenz.

§ 43. Keimung[3]).

Bei der Keimung sind zwei Aufgaben im Auge zu behalten:

1⁰ der morphotische Vorgang der Entwickelung, und dieser gehört in die allgemeine Morphologie, und

[1]) Sauerstoffabscheidung bei Abwesenheit von Kohlensäure. Heidelberg. Naturhist. Verein. 4. Aug. 1875.

[2]) Th. Hartig, Leuchten des weißfaulen Holzes. Bot. Ztg. 55. S. 148.

[3]) Julius Sachs, Physiologische Untersuchungen über die Abhängigkeit der Keimung von der Temperatur. Pringsh. Jahrb. Bd. II. S. 338. — Linsser, Die periodischen Erscheinungen des Pflanzenlebens in ihrem Verhältniß zu den Wärmeerscheinungen. *Mémoires de l'acad. impér. des scienc. de St.-Pétersbourg. VII. Sér. T. XI. No. 7. 1867,* und zweiter Theil: *T. XIII. No. 8 et dernier. 1869.* — Kienitz, Vergleichende Keimversuche mit Waldbaumsamen aus klimatisch verschieden gelegenen Orten Mitteleuropas. Botanische Untersuchungen von Dr. N. J. C. Müller. II. 1. — Dr. Jos. Bœhm, Ueber das Keimen von Samen in reinem Sauerstoffgase. Abdr. a. d. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. 1873. — Prof. Dr. Jul. Wiesner, Experimental-Untersuchungen über die Keimung der Samen. Abdr. a. d. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. 1871.

2⁰ die phyſikaliſchen Bedingungen der Keimung.

Zu dieſen letzteren gehören die geeigneten Temperaturen der Umgebung, Feuchtigkeit und ſauerſtoffhaltige Atmoſphäre. Bei der großen Mehrzahl der Samen erfolgt die Keimung unmittelbar nach der Ausſaat und nachdem die äußeren Samenhüllen, das verhärtete Integument oder die Fruchtſchale gequollen ſind. Die Behandlung mit verdünntem Chlorwaſſer beſchleunigt die erſten Vorgänge der Keimung ſehr beträchtlich. Die Früchte von Carpinus und Fraxinus keimen erſt im zweiten Sommer nach der Ausſaat, ebenſo im Allgemeinen die Samen von Pinus Cembra unter den gewöhnlichen Bedingungen der Ausſaat im Freien. Dieſelben können indeß durch Einbetten in feuchte Erde und häufiges Begießen mit warmem Waſſer auch im nächſten Sommer nach der Erndte zur Keimung gebracht werden. Von Intereſſe iſt, daß die Keimlinge in reinem Sauerſtoffgas unter dem gewöhnlichen Druck nicht fähig ſind, auf Unkoſten ihrer Reſervenährkörper zu wachſen. Wird die Sauerſtoffatmoſphäre aber durch die Luftpumpe oder mit Waſſerſtoffgas verdünnt, ſo daß nahezu derſelbe Partialdruck des Sauerſtoffes herrſcht wie in der Atmoſphäre, ſo erfolgt die Keimung in normaler Weiſe.

Die Ergebniſſe der Forſchungen Linsser's ſind kurz folgende: die Reihenfolge der Entwickelung (Belaubung, Blüthe etc.) iſt für eine Reihe derſelben Pflanzenarten nicht an allen Orten dieſelbe, weil die Agentien des Klimas verſchieden auf verſchiedene Arten einwirken. Es kann z. B. an einem Orte eine Pflanze früher blühen als eine andere, an einem anderen Orte können ſich beide umgekehrt verhalten. Bei der Prüfung der ſeither über die Form des Zuſammenhanges der Erſcheinungen der jährlichen Temperatur mit den Lebenserſcheinungen der Pflanzen aufgeſtellten Hypotheſen, verwirft Linsser nicht nur die Vorausſetzung, daß zur Erreichung eines beſtimmten Zuſtandes in der Vegetation eine ganz beſtimmte Temperatur in der Jahreszeit erreicht ſein müſſe, ſondern auch die Hypotheſen, welche die aus den Factoren Temperatur und Zeit gebildeten «Temperaturſummen» als Maßſtab für die klimatiſchen Anſprüche einer Pflanzenart an allen Orten annehmen. Linsser ſtützt ſich hiebei auf zuverläſſige Zahlenangaben, welche durch vieljährige phänologiſche Beobachtungen an verſchiedenen Orten Europas gewonnen wurden. Aus der Vergleichung derſelben Zahlen findet er folgende Geſetze:

«Die an zwei verſchiedenen Orten den gleichen Vegetationsphaſen zugehörigen Summen von Temperaturen über 0⁰ ſind den Summen aller poſitiven Temperaturen beider Orte proportional», d. h. «ein jedes Pflanzenindividuum beſitzt die Fähigkeit, ſeinen Lebenskreis ſo zu durchlaufen, wie es die Wärmeſumme ſeines Heimathortes erfordert, und wie es ſeine vorausgegangenen Generationen gewohnt geworden ſind, indem Individuen gleicher

Art an verſchiedenen Orten zu gleichen Entwickelungsſtufen gleiche Portionen der ihnen gewohnten Wärmeſumme verwenden.»

Linsser ſucht Anwendung ſeiner Ergebniſſe für die Samenverſetzung und Akklimatiſation der Pflanzen; er ſtellt ſich vor, beim Keimling ſei die Geſchwindigkeit der Entwickelung gleich den einwirkenden Temperaturen, dividirt durch die gewohnten jährlichen Wärmeſummen der Mutterpflanzen. Er ſtützt ſich auf die Erfahrungen, daß im Norden erzeugte Pflanzen, nach Süden verſetzt, den hier erzeugten voreilen, während ſüdliche Pflanzen, nach Norden verſetzt, hinter den hier erzeugten zurückbleiben; ferner daß im Gebirge erzeugte Pflanzen, in die wärmere Ebene verſetzt, den hier erzeugten voreilen, in der Ebene erzeugte Pflanzen, in's kältere Gebirge verſetzt, hinter den hier erzeugten zurückbleiben. Als Beweiſe hierfür dienen ihm vorzugsweiſe die Ergebniſſe der Ausſaaten noch nicht akklimatiſirter Getreidearten aus verſchiedenen Gegenden.

Die erblich gewordenen Verſchiedenheiten der Entwickelung betrachtet Linsser als eine allmälige Anpaſſung, nicht als eine directe Beeinfluſſung durch das Klima.

In der zweiten Abhandlung vom Jahre 1869 veröffentlicht Linsser die Reſultate einer eingehenden Bearbeitung des europäiſchen Materials an Beobachtungen der Holzpflanzen in Bezug auf Wärme und Regenmenge. Von der Vorausſetzung ausgehend, daß die Wärme die Hauptkraft, das Waſſer das Hauptmaterial für das Pflanzenwachsthum ſei, folgert er, daß das Verhältniß beider zu einander hauptſächlich die Eigenthümlichkeiten der Pflanzenentwickelung in verſchiedenen Klimaten beſtimme. Linsser bemüht ſich, eine ganz beſtimmte, durch eine einfache Formel auszudrückende Beziehung zwiſchen Regen- und Wärmemenge zu finden, und ſtellt in dieſer Richtung das reiche Beobachtungsmaterial zuſammen. Als ſicheres Ergebniß ſtellt ſich heraus, daß in Gebieten mit regenarmen Sommern die Wärmealiquoten für eine beſtimmte Entwickelungsphaſe kleiner ſind, als die entſprechenden in Gebieten mit regenreichen Sommern; d. h. «die Pflanzen beeilen ſich in jenen, in letzteren hingegen leben ſie gemächlicher». Es folgen nun Schlüſſe aus dieſem Ergebniß über Akklimatiſation und natürliche Verbreitungsbezirke der Pflanzenarten. Als Hauptregulatoren für das Leben jeder Pflanze gelten Linsser die individuelle Gewöhnung und das Princip der Sparſamkeit.

Als unmittelbar an die Reſultate der Linsser'ſchen Beobachtungen und Berechnungen anſchließend können die Ergebniſſe der vergleichenden Keimverſuche mit Waldbaumſamen von M. Kienitz betrachtet werden. Experimentell wird hier die Richtigkeit eines Theiles der Folgerungen Linsser's bewieſen. Samen der Picea excelſa, Pinus ſilveſtris, Abies pectinata, Fagus ſilvatica, Acer pſeudoplatanus, aus verſchiedenen Lagen vieler Orte Mitteleuropas

ſtammend, wurden auf Keimplatten unter gleichen Bedingungen ausgeſät und je eine Reihe einem Wärmegrad in der Nähe des Minimums der Keimtemperatur (bei den angewandten Arten zwiſchen 5 und 11° C.), eine zweite derſelben Samennummern einem ſolchen in der Nähe des Optimum bis Maximum (d. h. einer Temperatur von durchſchnittlich 19° C.) ausgeſetzt. — Innerhalb der Arten zeigten die Samen aus kälteren Gegenden ein geringeres Wärmebedürfniß als die aus wärmeren Lagen. Erſtere vermochten bei niedrigerer Temperatur zu keimen als letztere, dieſe dagegen eine höhere Temperatur zu ertragen, reſp. mit Vortheil zu verwenden als jene. Selbſt Samen, auf Südſeiten der Gebirge gereift, hatten ein höheres Wärmebedürfniß als ſolche von Nordſeiten unter ſonſt ähnlichen Bedingungen. Um die Vergleichung der Samen aus verſchiedenen Gegenden zu ermöglichen, wurde das verticale Verbreitungsgebiet der Holzarten in Mitteleuropa in überall gleichbreite Schichten getheilt, die, untereinanderliegend gedacht, die obere Verbreitungsgrenze der Holzarten als Grundlage haben. Alle Samennummern aus einer jeden Schicht wurden zuſammengefaßt und die Durchſchnittswerthe der Keimreſultate aus den verſchiedenen Schichten einander gegenübergeſtellt. Die Vorausſetzung, daß die den Bäumen gebotenen klimatiſchen Bedingungen in jeder dieſer Schichten innerhalb Mitteleuropa's annähernd gleiche ſein würden, fand durch den Erfolg der Verſuche ihre Beſtätigung, doch muß die Methode, in den Erzeugniſſen einfach das Geſammtproduct der klimatiſchen Einflüſſe als verkörpert zu betrachten, mit großer Vorſicht und Sachkenntniß angewandt werden, wenn ſie einen beſſeren Anhalt gewähren ſoll als die Beobachtung der einzelnen Factoren, welche ſtets mangelhaft bleiben wird, da es kaum möglich iſt, ihren abſoluten ſowohl als ihren relativen Werth zu beſtimmen.

Die Vergleichung der Samen verſchiedener Arten mit einander ergab, daß nicht die Wärmeſumme, welche die Mutterpflanze genießt, in hervorragender Weiſe die Anſprüche des Keimlings bedingt, ſondern daß dieſe letzteren ſich vorzugsweiſe der Temperatur angepaßt haben, welche in den vergangenen Generationen der Samen bei der Ausſaat geboten wurden. Die Samen der Tanne und Buche, d. h. der Arten mit höheren Anſprüchen an die Wärme keimen bei geringerer Temperatur als die der härteren Fichte und Kiefer. Die erſteren werden vor dem Winter ausgeſtreut und keimen, ſobald der Boden froſtfrei iſt, die letzteren fliegen erſt im Frühling auf den ſchon erwärmten Boden.

---

§ 44. Protoplasmabewegung abhängig von der Temperatur.

Die Protoplasmaſtrömung in den Stammzellen der Charen, in den Tradescantiahaaren eignet ſich zu Meſſungen über die Geſchwindigkeit der in dem Stamm fortbewegten feſten Theilchen.

Man bedient ſich zu dieſen Beobachtungen der heizbaren Objecttiſche[1]). Nach den dieſsbezüglichen Unterſuchungen Nägeli's nimmt die Stromgeſchwindigkeit mit der Temperatur nach dem in der Figur 475 verzeichneten Geſetze zu. Trägt man nämlich die Temperatur in die Abſciſſenaxe, die zugehörigen Zeiten in die Ordinaten, ſo erhält man eine Curve, welche nach der Abſciſſenaxe convex iſt. Die Beſchleunigung der Strömung nimmt mit der Temperatur ſtetig zu, bis in der Nähe von 30° C. plötzlich Stillſtand eintritt.

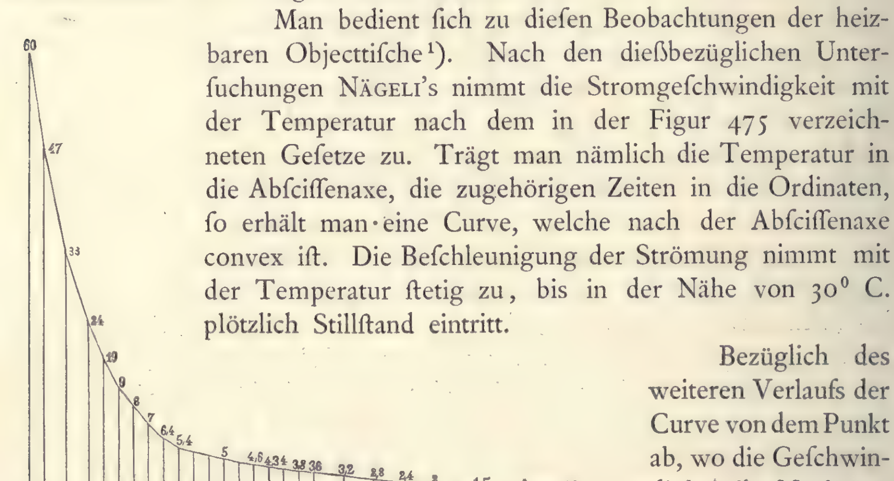


Fig. 475. Die Zeit, welche von einem Plasmakörnchen gebraucht wird, um die conſtante Weglänge von 1/10 mm zurückzulegen, als Function der Temperatur dargeſtellt. Die Abſciſſe iſt in Intervalle von 5° C. getheilt, die zugehörigen Ordinatenwerthe ſind Secunden.

Bezüglich des weiteren Verlaufs der Curve von dem Punkt ab, wo die Geſchwindigkeit ihr Maximum erreicht, waren die Forſcher über dieſen Gegenſtand verſchiedener Anſicht. Einigen (Sachs z. B.) erſchien es wahrſcheinlich, daſs die Geſchwindigkeit mit wachſender Temperatur wieder abnehme. Hienach würde unſere Curve ein Maximum beſitzen, welches dem Temperaturoptimum entſpricht in derjenigen Curve, welche die Wachsthumsintenſität der Keimpflanzen als Function der Temperatur bei conſtantem Zeitintervall darſtellt.

Nach der Nägeli'ſchen Anſchauung der Sache hingegen ſollte die Geſchwindigkeit mit der Temperatur ſtetig wachſen, bis zu dem Temperaturgrad, bei welchem alſo die Bewegung im Maximum der Geſchwindigkeit plötzlich aufhört. Es ſchien mir von Intereſſe, zu entſcheiden, ob die eine oder die andere Anſicht richtig ſei.

Ich bediente mich einer objectiven Bilddarſtellung, eine Methode, welche mir die gröſste Genauigkeit in der Meſſung der relativen Strom-

[1]) Dr. O. W. Thomé, Vorrichtung, um die Einwirkung der Wärme auf mikroſkopiſche Objecte leicht beobachten zu können. 107. — Prof. Max Schultze, Ein heizbarer Objecttiſch. 172. Bot. Ztg. 65.

geſchwindigkeit erlaubte und welche gleichzeitig die Temperaturbeſtimmung unnöthig machte. In dem Dunkelzimmer des phyſiologiſchen Laboratoriums ſtellte ich ein Sonnenmikroſkop mit HARTNACK'ſchen Syſtemen auf und entwarf das Stromſyſtem einer Ecbaliumzelle als objectives Bild bei etwa 800facher Vergrößerung. Die Bahnlänge eines Plasmatheilchens konnte ſehr leicht durch eine Zeichnung feſtgehalten werden. Die Bewegung verlief immer ſo, daß ſie ſtetig beſchleunigt ward, bis plötzlich alle Strömung aufhörte. Dieß traf ſtets in dem Zeitpunkt ein, wo die Geſchwindigkeit die größte war.

§ 45. Wachsthumsintensität von der Temperatur abhängig[1]).

Nach zwei Richtungen würde in der neueren Zeit die Abhängigkeit der Entwickelung von der Temperatur unterſucht. BOUSSINGAULT ſucht für den ganzen Cyklus der Lebenserſcheinungen an einer gegebenen Pflanze eine Temperaturconſtante, indem er die mittleren Tagestemperaturen addirt für alle Tage, welche der vegetative Proceß in Anſpruch nimmt. Die Summe dieſer Temperaturen oder, was dasſelbe iſt, das Product aus der mittleren Tagestemperatur in die Anzahl der Tage, iſt die Wärmeconſtante der betreffenden Pflanzenart.

Der zweite Weg wurde zuerſt von SACHS eingeſchlagen. Hier wird der Zuwachs eines gegebenen Organes, insbeſondere der Keimtheile, als Function der Temperatur beſtimmt. SACHS ſtellt ſich vor, daß für jeden vegetativen Proceß drei weſentliche Temperaturgrade zu beachten ſind: eine niederſte Temperatur, bei welcher ſoeben der in Frage kommende Proceß ſtillſteht, oder doch ſo langſam verläuft, daß er ſich der Meſſung entzieht, dieß iſt das Minimum der Temperatur für den in Frage kommenden Proceß; bei ſteigender Temperatur muß ein zweiter Temperaturgrad erreicht werden, bei welchem der Proceß ſiſtirt wird, weil die Wärmebewegung jetzt zu groß iſt, dieß iſt das Maximum der Temperatur; zwiſchen dieſen beiden muß ein Temperaturgrad liegen, wo der Proceß am raſcheſten verläuft: das Optimum der Temperatur. So liegt z. B. für die Streckung der Keimwurzeln bei dem Mais das Minimum bei 13,7°, das Optimum bei 27° und das Maximum in der Nähe von 34°. Für Phaſeolus,

[1]) H. HOFFMANN, Unterſuchungen zur Klima- und Bodenkunde mit Rückſicht auf die Vegetation. Bot. Ztg. 65. S. 1–124. — HUGO DE VRIES, *Matériaux pour la connaissance de l'influence de la température sur les plantes. 1870.* — WLADIMIR KŒPPEN, Wärme und Pflanzenwachsthum. Moskau 1870. Kaiſerl. Univerſitäts-Buchdruckerei. — HUGO DE VRIES, *Sur la mort des cellules végétales par l'effet d'une température élevée. 1871.*

die Bohne, liegt das Optimum bei 21°. Das Maximum liegt bei den unterſuchten Getreidefrüchten bei 22,8° R.

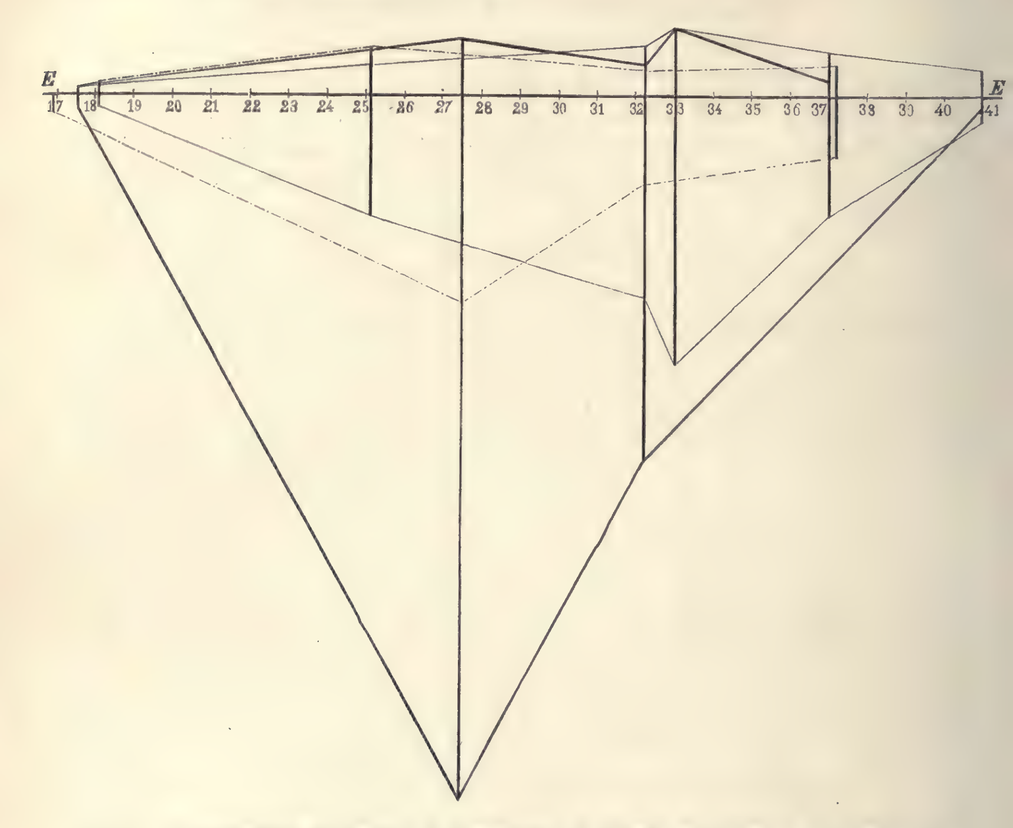


Fig. 476. Zuſammenſtellung der Zuwachſe an dem Keimling als Function der Temperatur bei conſtantem Zeitintervall. Die in den Curven liegenden Ordinaten ſind die Längen der Zuwachſe bei den in der Abſciſſenaxe angegebenen Temperaturen (Celſius), unter der Axe *E E* für die Wurzel, über derſelben für den Stamm. Die grob ausgezogene Curve gilt für die Gerſte, die fein ausgezogene für den Mais, die punktirte für die Erbſe.

Die Fig. 476 veranſchaulicht die Methode der Beobachtungen und deren Zuſammenſtellung. Die Abſciſſenaxe bedeutet die Temperatur der Orte, wo die Ausſaat der unterſuchten Pflanzen erfolgte. Die Ordinaten über der Abſciſſenaxe bedeuten die nach 48 Stunden erreichten Längen der Stämme, während die Ordinaten unter der Axe die Längen der Wurzeln darſtellen. Der Uebergang in der Zuwachsfunction, Fig. 476, zwiſchen dem Minimum und dem Maximum wird im Allgemeinen eine ſtetige Function ſein, deren abſolutes Maximum im Optimum liegt.

§ 46. Bestimmung der Wärmemenge[1]).

Die oben angegebene Methode BOUSSINGAULT's[2]) beruht auf der Vorausfetzung, daß innerhalb engerer Grenzen eine höhere Temperatur den in Frage kommenden Vegetationsproceß befchleunige, während die niedere Temperatur ihn verzögert.

[1]) A. DE CANDOLLE, *Sur la méthode des sommes de température appliquée aux phénomènes de la végétation.* Derf. «*Des effets différents d'une même température sur une même espèce au nord et au midi. Compt. rend. de l'acad. des sciences. Genève. Juin 1875.*

[2]) In Bezug auf die Cerealien hat BOUSSINGAULT eine Reihe von Beifpielen gegeben, fo bei dem Sommerweizen:

	Zahl der Tage.	Mittlere Temp.	Ausfaat.	Erndte.	Wärmefumme.
Elfaß	131	15,8	—	—	2069
Kingfton (New-York) 41,5° n. Br.	106	20	—	—	2120
Cincinnati (Ohio) 39,6° n. Br.	137	15,7	Ende Febr.	Mitte Juni	—
Cinijaca (Bogota) 4,5° n. Br. 7000 F. ü. M. . . .	147	14,7	Februar	Ende Juli	2160
Quinchuqui (Quito) 0° n. Br.	181	14	Anfang Febr.	« «	—
Venezuela 10,13° n. Br.	92	24	—	—	2208
Truxillo 9° n. Br. . . .	100	22,3	—	—	—

Die Wärmeanfprüche der Getreide gehen für lange Zeit in die fpäteren Ausfaatgenerationen über. Die Landwirthe wechfeln mit dem Saatkorn zum Theil, um auf geringerem Boden mit ausländifchen härteren Racen größere Refultate zu erzielen wie mit dem heimifchen Saatkorn.

Nach BOUSSINGAULT braucht der Mais von der Ausfaat bis zur Erndte in

Bechelbronn	1. Juni bis 1. Oktober	122 Tage	mittlere Temp. 20° C.		
Elfaß	Ende April « Ende Sept.	153 «	(mittlere Temp. 20° C.)		
Languedoc 44,7° n. Br.	1. Mai « 10. Sept.	135 «	«	«	22,7° C.
Kingfton	Ende Mai « September	122 «	«	«	22° C.

Der Mais braucht aber an den Ufern des Magdalenenfluffes auf urbar gemachtem Boden unter 10° n. Br. nur 92 Tage bei 27° mittlerer Temperatur und an der oberen Grenze in den Anden (Bogota 4 1/2° n. Br., 7000 F. ü. M.) 183 Tage bei 15° C. mittlerer Temperatur.

Nach SCHÜBLER (Pflanzenwelt Norwegens) fchwankt die Anzahl der Tage für die wichtigften Getreide in Skibotten (69,28° n. Br., 38° o. L.) in Norwegen zwifchen 20. Mai und 3. Juni als den Tagen der Keimung, und 9. Mai und 28. Mai als den Tagen der Ausfaat. Die Erndte fällt zwifchen 12. Auguft und 12. September. Die Zahl der Tage für die Entwickelung fchwankt zwifchen 79 und 124. Die Vegetationszeiten waren im Durchfchnitt:

Als Minimum der jährlichen Baumvegetation werden drei Monate der möglichen Vegetationsdauer und eine mittlere Temperatur von 8° C. gefordert. Die Nadelhölzer ſind gegenüber den Laubhölzern im Vortheil, da die Blattentfaltung bei ihnen eine weniger gefährliche Kriſe in dem ganzen Leben darſtellt wie bei den Laubhölzern. Die Abietineen beherrſchen in Wirklichkeit aus dieſem Grunde den nordiſchen und hochalpinen Waldgürtel faſt ausſchließlich bis zur äußerſt möglichen Grenze des Baumwuchſes.

---

vierzeilige Gerſte	98 Tage.
nackte «	109 «
Mandſchurei «	109 «
Sommerroggen	116 «
Sommerweizen	115 «

Der Victoriaweizen von Eldena ſchwankte in drei Jahren zwiſchen 117, 99 und 77 Tagen; ebenſo der Toskanaweizen zwiſchen 99 und 103 Tagen.

Die Gerſte macht die geringeren Anſprüche, ſie reicht höher in's Gebirg und weiter nach Norden; ſie braucht in:

Bechelbronn, Elſaß	92 Tage,	Temp. 19;
am Nil	90 «	« 21;
Sta Fé di Bogota, 7000 F. ü. M. . .	122 «	« 14,7.

Die Jeruſalemgerſte braucht in Norwegen 85—88 Tage.

Einen ganz durchſchlagenden Beweis für die Anpaſſung der Varietäten an die klimatiſchen Verhältniſſe bieten die Maiskulturen Schübler's in Chriſtiania. Die Zahl der Tage ſchwankt dort zwiſchen 90 und 145. Wir geben hier eine Ueberſicht über die wichtigeren Daten. Die Ausſaaten geſchahen ſämmtlich am 22. Mai. Die Zahl der Tage ſind dieſe:

	Herkunft.	Dauer Tage.
Gelber Hühnermais . .	Chriſtiania	90
Ungariſcher Mais . . .	Breslau	102
Großer gelber Mais . .	Kärnthen	108 und 112
Turgano « . .	Lucca	114
Adamskorn	Stuttgart	132
Sugar «	Philadelphia	145

Der Erndtekolben war in Chriſtiania häufig größer wie der Ausſaatkolben.

De Candolle, *Géographie botanique raison. Paris. Échenelle. 1854.* Der Gang der Temperatur während eines Tages kann mit großer Genauigkeit durch dieſe Formel nach M. Ritter gefunden werden:

$$t = a + b \sin (15^0 h + \alpha) + c \sin (30^0 h + \beta) + d \sin (45^0 h + \gamma);$$

hierin bedeutet t die Temperatur, h die Stunden von Mittag an gerechnet, und zwar vor Mitternacht negativ, nach Mitternacht poſitiv bis Mittag. a, b, c, d; α, β, γ ſind die aus den Beobachtungen fließenden Conſtanten, a iſt die mittlere Temperatur des Tages. Der zweite Ausdruck iſt periodiſch einmal ſubtractiv, einmal additiv während des Tages. Er ſtellt ein Maximum und ein Minimum dar und wird in zwei Zeitpunkten Null. Der dritte Ausdruck iſt ebenſo periodiſch, wird aber viermal in einem Tage Null, hat zwei

Ein Vergleich der Wärmeſummen hat nur Bedeutung bei Bäumen, die nahezu gleiche Breiten, beziehentlich Höhenlagen, bewohnen; ſo braucht die Fichte bis zur Blattentfaltung die Summen 316, 404, 288, 336, 388 vom 1. Januar gerechnet; die Birke 381° C. in Brüſſel, 235° C. in Riga, 288° C. in Chriſtiania. Die Lärche, welche den Vortheil ihrer Verwandten nicht beibehalten hat, braucht bis zur Blattentfaltung dagegen 1672° C. Die Kiefer mit dem weiteſten Wohnſitz erträgt innerhalb desſelben ein Temperaturintervall von —40° C. im Winter an ihrer Nordgrenze und 26° Juliwärme an ihrer

---

Maxima und zwei Minima. Er iſt eine Correction des vorhergehenden Ausdrucks, welche nöthig iſt, weil die Maxima und Minima nicht durch 12ſtündige Intervalle geſchieden zu ſein brauchen. Der vierte Ausdruck wird ſechsmal Null, hat drei Maxima und drei Minima, die übrigen Correctionen können vernachläſſigt werden, da die Fehler jetzt ſchon innerhalb 0,1 bis 0,2° C. liegen.

1° Wenn während des Tages die Temperatur ſich über den Temperaturgrad ſtetig erhoben hat, welcher für die Vegetation nützlich iſt, ſo giebt die mittlere Temperatur genau das gewünſchte Reſultat, da die Temperaturen über dieſe mittleren durch diejenigen darunter compenſirt werden;

2° wenn während des Tages die Temperatur ſich ſtetig unter der nützlichen erniedrigt hat, ſo iſt klar, daß man aus dem Product der obigen Formel Null erhält;

3° hat ſich die Temperatur nur während einer gewiſſen Zeit des Tages über den nützlichen Temperaturgrad erhoben, ſo kann das erwünſchte Reſultat nur durch eine langwierige Rechnung, als Product aus der Dauer in die Temperatur, gefunden werden.

Der Zuſammenhang zwiſchen Zeit und Temperatur bei Boussingault, *Compt. rend. 1837. pr. sem. 179* und *Écon. rur.* Bd. II. S. 659. 1844, und bei M. Lucas für die Getreidearten. Bot. Ztg. 1849. S. 300.

Nach der Auffaſſung de Candolle's liegen in der Boussingault'ſchen Rechnung die Urſachen mehrerer Irrthümer, ganz unabhängig von der Methode, welche im Ganzen und Großen die Unterſchiede in den Zahlen erklären, wie ſie den einzelnen Arten zukommen:

1° die Wahl des Zeitintervalles mit Berückſichtigung der einzelnen Proceſſe der Reife, des Wachſens u. ſ. w. Im Allgemeinen können die Irrthümer in der Wahl der Zeit bis zu drei und vier Tagen gehen. Dieß ergiebt im Maximum Fehler von etwa 100° für die Wärmeſumme;

2° die für die Vegetation zu niedrigen Temperaturen an einem Beobachtungsorte unter Null können an einem anderen über Null ſein (nach unſerer Auffaſſung liegt hier das Weſen der Unanwendbarkeit);

3° es wird auf die chemiſche und caloriſche Wirkung der Strahlung, welche in verſchiedenen Ländern verſchieden iſt, keine Rückſicht genommen. Auch die langen Tage im Norden und die Höhen, ſowie die Durchläſſigkeit der Atmoſphäre ſind ganz vernachläſſigt u. ſ. w.;

4° die Spielarten der Getreide können außerordentlich differiren. Es iſt nicht gewiß, daß man in einem gegebenen Land immer die «mittlere Race» (variété moyenne) cultivirt (die Energie der Race);

5° der Modus der Cultur, Tiefe der Saatlage unter dem Boden, Quantität des Düngers, künſtliche Bewäſſerung, die Localität ändern die Reſultate unabhängig von der Wärme.

Südgrenze. Nun ist leicht einzusehen, daß dieselbe Baumart sowohl in der Form wie in ihren Ansprüchen an die Temperatur, an die bewohnte Gegend sich anpaßt. Es müssen sich daher innerhalb des Wohnbezirkes, wenn dieser in Nord und Süd, Ost und West sehr verschiedene klimatische Verhältnisse bietet, auch verschiedene Racen einer Art ausbilden. An und für sich ist

---

Von all' diesen ist die bedeutendste, um welche es sich am meisten handelt, die Nichtberücksichtigung der directen Sonnenstrahlung.

In Upsala und den nordischen Ländern überhaupt erscheinen die Temperatursummen sehr niedrig, weil die außerordentlichen Sommertaglängen einen wichtigen Einfluß besitzen. Zieht man die Sonne und die zu niedrige Temperatur in Betracht, so werden die Ziffern schon viel ähnlicher. So beginnt nach Herrn Gasparin der Roggen merklich zu wachsen, wenn die mittlere Temperatur + 6 erreicht:

in Orange	1. März	die Erndten finden statt durchschnittl.	25. Juni;
Paris	20. «		1. Sept.;
Upsala	20. April		20. « .

Die Temperatursummen, welche aus diesen Angaben berechnet werden, sind in

Orange 1601,
Paris 1944,
Upsala 1546;

doch in Orange ist die Sonne heißer wegen der Breite, in Paris ist der Himmel bewölkter, in Upsala sind die Tageslängen des Sommers außerordentlich viel größer u. s. f.

Nach den Physikern Babinet u. Quetelet soll eine andere Methode angewendet werden, welche, wie sie selbst sagen, auf einer Hypothese beruht. Sie vergleichen die Wirkung der Temperatur mit der Wirkung derjenigen Kräfte, welche, wie die Schwere, proportional der Intensität der Ursache und direct proportional dem Quadrat der Zeit wirken. — Kennt man j die Anzahl der Vegetationstage, t die Anzahl der Temperaturgrade und berechnet i die Temperatur im Zeitpunkt des Beginnes, so setzen sie voraus, daß die Wirkung nach der Formel erfolgen soll

$$j\,(t-i)^2.$$

In diesen Formeln ist $t-i$ die Temperatur, welche Babinet die nützliche genannt hat. Letzterer bemerkt, daß man den Werth von i mit Hilfe der Formel berechnen kann, indem man für eine gegebene Pflanze aufeinanderfolgende Entwicklungen beobachtet, zuerst während einer Zeit j und einer Temperatur t, sodann während der Zeit j^1 und der Temperatur t^1. Man hätte nach der ersteren Methode $i = \frac{j t - j^1 t^1}{j - j^1}$ und nach dem System des Herrn Quetelet $i = \frac{t\sqrt{j} - t^1\sqrt{j^1}}{\sqrt{j} - \sqrt{j^1}}$; nach dem System des Herrn Babinet $i = \frac{j^2 . t - j^{12} t^1}{j^2 - j^{12}}$.

Herr Babinet hat von seiner Hypothese keine Anwendung gemacht, und Herr Quetelet glaubt, daß sie nicht richtig sein kann. In der That sagt er, es wären die Wirkungen

für 2 Tage mit 10° C. = 4 . 10 = 40
« 1 Tag « 20° C. = 1 . 20 = 20
« 4 Tage « 5° C. = 16 . 5 = 80.

De Candolle a. a. O. erwähnt noch Beobachtungen, welche nöthig wären, um direct die Temperatursummen über jedem Grade zu erhalten (S. 58).

Geogr. Vertheilung der nützlichen Temperatursumme (S. 60).

daher ebenso wie bei den einjährigen Cerealien zu erwarten, daß Temperaturconstanten für alle Abkömmlinge einer Species nicht existiren.

A. Das Aussaat-Erndteintervall

schwankt je nach der Herkunft in weitesten Grenzen. DE CANDOLLE[1]) machte hierüber einige genauere Aufnahmen mit einjährigen Pflanzen von allgemeiner Verbreitung.

Am 22. Mai 1869 säte DE CANDOLLE in Genf Senecio aus. Die Samen stammten von

Edinburg, Moskau, Montpellier, Palermo;

am 27. Mai waren alle aufgegangen, die Blüthe aber fiel resp. am

3. Juli, 8. Juli, 8. Juli, 14. Juli.

Früchte gab es am 4. August in Edinburg und Moskau reichlich, in Montpellier und Palermo wenige. Die in Genf geerndteten Samen wurden gleichzeitig am 1. Oktober 1869 ausgesät in Florenz:

	Aufgehen.	Blüthe.
Moskau	5. Oktober.	8. Februar.
Edinburg	20. «	20. «
Montpellier	30. «	14. «
Palermo	22. «	2. März.

Es eilen somit die nördlicheren härteren Racen ganz merklich gegenüber den südlichen voraus.

B. Belaubung und Blattfall.

Auch bei diesen Beobachtungen treten große Schwierigkeiten entgegen wegen des Standortes, des Alters der Bäume, deren Beschattung und anderes mehr.

	Dauer der Blätter in Tagen.	Blattentfaltung.	Blattfall.
Juglans regia	179	19. April	15.—29. October
Acer platanoïdes	181	21. «	19. «
» campestre	182	25. «	24. «
Populus tremula	184	3. Mai	3. November
Fraxinus excelsior, Quercus cerris	188	23.—25. April	24.—30. October
Quercus pubescens	190	24. «	31. «
Fraxinus Ornus	196	28. «	10. November
Pirus communis	197	13. «	27. «

[1]) DE CANDOLLE, *Arch. des scienc. phys. et nat. Genève. Juin 1872.*

	Dauer der Blätter in Tagen.	Blattentfaltung.	Blattfall.
Ulmus effufa	200	15. April	1. November
Corylus	202	6. »	25. »
Tilia parvifolia	202	21. »	9. »
» grandifolia	204	13. »	3. »
Robinia	205	23. »	14. »
Betula alba	206	7. »	30. »
Aesculus hippocaftanum . .	206	11. »	3. »
Prunus fpinofa	206	20. »	12. »
Fagus filvatica	206	21. »	13. »
Carpinus betulus	211	9. »	6. »
Ulmus campeftris	225	14. »	25. »
Alnus glutinofa	228	9. »	23. »
Larix europæa	247	28. März	1. December.

Unter den immergrünen Nadelhölzern ift die Zirbelkiefer der Hochalpen die frühefte, 4. Mai, fodann kommt die gemeine nordifche Kiefer, 14. Mai, die Weymouthskiefer, 21. Mai, und zuletzt die Bergkiefer (Mughus), 23. Mai.

C. Blüthe und Frucht.

Die größere Schwierigkeit ift hier die Feftftellung des Zeitpunktes der Fruchtreife, da hiefür fefte Kriterien im Allgemeinen nicht vorhanden find, namentlich dann nicht, wenn es fich um fehr große Früchte der Pomaceen, Amygdaleen u. v. a. handelt.

Die hier folgenden Angaben aus dem reichen Material, welches Pokorny für Wien gefammelt hat, haben eher ein Intereffe für Syftematik und Pflanzengeographie.

	Wärmefumme.	Erfte Blüthe.
Daphne Mezereum	36,1 ± 11	25. Januar ± 10
Corylus avellana	72,7 » 5,5	1. März » 7
Alnus glutinofa	97,6 » 5,2	11. » » 6
Populus tremula	137,5 » 6,9	26. » » 3
Salix daphnoides	141,0 » 9	31. » » 1
Daphne laureola	150,3 » 0,7	28. » » —
Ulmus effufa	162,5 » 6,5	31. » » 3
» campeftris	163,8 » 9,3	30. » » 3
Populus alba	179,0 » 9,7	4. April » 3
Taxus baccata	194,6 » 4,7	28. März » 4

	Wärmefumme.	Erfte Blüthe.
Larix europæa	215,5 ± 16	14. April ± 3
Populus dilatata	220,3 » 7,2	9. » » 3
Salix purpurea	229,0 » 7,3	14. » » 1
Pop. nigra	236,5 » 10,6	12. » » 3
Carpinus betulus	279,3 » 11,3	20. » » 3
Picea excelfa	353,2 » 18,7	28. » » 4
Juniperus communis	372,8 » 27	30. » » 4
Fagus filvatica	380,6 » 40	3. Mai » 1
Oftrya vulgaris	381,0 » 14,3	3. » » 3
Hippophaë rhamnoides	383,0 » 9,4	10. » » 1
Quercus pedunculata	420,6 » 19,2	6. » » 3
Daphne alpina	432,0 » 14,9	8. » » 2
Quercus cerris	475,6 » 15,2	12. » » 2
Pinus filveftris	517,5 » 9,3	17. » » 1
» Laricio	565,6 » 13,4	20. » » 2
» Pumilio	630,8 » 16,0	24. » » 2
Eleagnus anguftifol.	814,6 » 15,5	7. Juni » 2

Bei der Betrachtung der Wärmefummen für die Fruchtreife treten noch größere Schwierigkeiten entgegen. Selbftredend haben diefe Rechnungen für folche mit zweijähriger Dauer der Reife, fo namentlich für die Kiefern und Cedrus, keine Bedeutung.

	Wärmefumme.	Zahl der Tage zwifchen Blüthe und Frucht.	Fruchtreife.
Populus tremula	418,7 ± 27,6	43	8. Mai ± 3
Salix purpurea	525,1 » 16,3	35	19. » » 6
Ulmus campeftris	540,3 » 20,4	49	18. » » 2
» effufa	574,7 » 23,8	50	20. » » 3
Populus nigra	683,6 » 24,8	48	30. » » 3
» dilatata	703,7 » 17,8	52	31. » » 2
Daphne Mezereum	804,2 » 18,16	134	8. Juni » 2
» alpina	1011,4 » 15,9	25	21. » » 2
Fagus filvatica	1617,5 » 58,5	97	2. Auguft » 1
Carpinus betulus	1836,6 » 18,7	153	20. September » 0
Taxus baccata	1873,1 » 55,3	143	18. Auguft » 5
Juniperus communis	2025,2 » 87,4	119	26. » » 1
Quercus pedunculata	2236,2 » 27,8	131	14. September » 5
Eleagnus anguftifol.	2267,3 » 47,4	98	12. » » 3
» cerris	2335,2 » 57,8	132	21. » » 8
Alnus glutinofa	2404,2 » 29,0	196	23. » » 5

Eine Vergleichung fehr naheftehender Arten einer Gattung führt fchon zu außerordentlichen Unterfchieden in der Temperatur, welche beanfprucht wird. So entfaltete fich die erfte Blüthe der Loniceren:

bei L. Caprifolium	am	1. Juni,	die Wärmefumme	701;
« « Periclymenum	«	11. «	« «	863;
« « tatarica	«	6. Mai,	« «	414;
« « Xylofteum	«	7. «	« «	421.

Die beiden erften find großblätterig und großblüthig, beanfpruchen einen höheren Temperaturgenuß wie die kleinblüthigen beiden letzten Arten.

In ähnlichem Sinne haben die beiden Viburnumarten ein Intereffe. Der nacktknofpige Viburnum Lantana zeigt die erfte Blüthe am 3. Mai und erfordert die Summe von 389° C., die erfte Frucht am 2. Auguft mit der Wärmefumme von 1662. Die beiden Summen find für Viburnum Opulus aber 507 und 1482.

Die beiden Hollunder (Sambucus) differiren:

S. nigra	erfte Blüthe	22./v.	W.-S.	579° C.;	erfte Frucht	7./VIII.	W.-S. 1692;
S. racemofa	« «	1./v.	«	350° C.;	« «	22./VIII.	« 1004.

Die beiden Efchen Fraxinus excelfior und Fraxinus Ornus bedürfen für die Blüthe 248 und 597. Die erftere ift eine nordifche, die letztere eine füdliche Art.

Cornus mascula mit früher Blüthe bedarf 145° C. gegenüber Cornus fanguinea mit der Wärmefumme von 729° C. Für die Fruchtreife find beide nahezu gleich.

Bei den Linden macht die nördliche Tilia parvifolia für die Blüthe den Anfpruch von 1021, die füdliche Tilia argentea aber braucht 1225. Die erftere verlangt für die Frucht 1609, die letztere 2138.

Es find hier alfo bei nahen Gattungsverwandten fchon Unterfchiede, welche den Schluß nahe legen, daß auch von den Individuen einer und derfelben Art mit weitem Wohnbezirk ganz verfchiedene Anforderungen geftellt werden.

Hofmann[1]) hat eine große Anzahl von Beobachtungen über den Einfluß der Witterung veröffentlicht. Er mißt die Lufttemperatur im Schatten, die Temperatur des Bodens in der Tiefe von 1 F., die Temperatur der Quellen in der Nähe der Verfuchsfelder, die Regenmenge und den Barometerftand. Parallel mit diefen Aufnahmen gingen die Beobachtungen über die Entwickelung der Pflanzen, den Zuwachs, die Fruchtreife u. f. f. Aus diefen Forfchungen kann das Folgende refumirt werden:

---

[1]) Hermann Hoffmann, Witterung und Wachsthum, oder Grundzüge der Pflanzenklimatologie. Förftner. Leipzig 1857.

1^0 eine «Witterungslinie», welche ein Geſammtbild der klimatiſchen Momente darzuſtellen vermöchte, giebt es nicht;

2^0 eine Combination von Witterungsfactoren iſt gleichzeitig an jeder Wirkung betheiligt;

3^0 eine höchſt mannigfaltige Compenſation der einzelnen Witterungsfactoren durch andere findet ſtatt;

4^0 derſelbe Factor wirkt zu verſchiedenen Jahreszeiten verſchieden, ebenſo verſchieden je nach Eigenart, Alter der Pflanze, endlich nach Verſchiedenheit des Organs.

Doch haben einzelne Factoren höhere Bedeutſamkeit als andere. Dieß ſind: Wärme, Licht und Feuchtigkeit; es kommt weniger auf die abſolute Größe derſelben, als vielmehr auf eine gewiſſe Vertheilung an.

Für den Pflanzenphyſiologen (entgegengeſetzt dem Meteorologen) ſind die Extreme der Witterungserſcheinungen wichtiger als die Mittel. Die Extreme nämlich, nicht aber die Mittel, bedingen Gedeihen und Fortkommen der Pflanzen, inſoweit überhaupt das Klima bei beiden betheiligt iſt.

D. Wärmeconstante.

Die Energie, welche aus einem gegebenen Keime entwickelt wird, iſt nicht allein eine Folge der während dieſer Entwickelung einwirkenden äußeren Agentien, ſie iſt auch eine Wiederholung der Evolution aller früheren Deſcendenten und daher von deren Energie abhängig. Man hat ſich vorgeſtellt, daß für dieſe Entwickelung eine unwandelbare Temperaturconſtante erforderlich ſei. Nach unſerer Vorſtellung iſt die Maſſenanhäufung in der Pflanze gleichmäßig abhängig von zwei Momenten, von den äußeren Agentien und von der Energie, welche in dem Keimling der Race angehäuft lag. Zwei Eicheln gleichen Gewichtes können bei gleicher Phaſe der Evolution, gleichen Mengen von Licht, Wärme, bei gleicher Unterlage, gleicher Dauer des Vorganges ungleiche Production, ungleiche Energie in der Evolution zeigen, eben ungleiche Eichbäume hervorbringen[1]). Genauere Prüfung wird zeigen, daß die Richtung und die Wege der Unterſuchung durchaus von ſolchen Betrachtungen abhängen müſſen; denn wandelbar werden ſtets die morphotiſchen Vorgänge ſein, welche der Race als eigenthümlich zugeſchrieben werden, unwandelbar können nur die einfachen Molecularwirkungen ſein.

Aus bekannten phyſiologiſchen Erfahrungen könnte man herleiten, daß für jeden Proceß in der Evolution eines Eichbaumes z. B. eine beſtimmte Wärmemenge von dem Baume aus der Maſſe ſeiner Eigenwärme verbraucht

[1]) Man vergl. Dr. M. Kienitz, Ueber Formen deutſcher Waldbäume. Forſtliche Zeitſchrift von Bernhardt. 1879. Berlin. Springer's Verlag.

wird, daß ferner eine bestimmte Temperatur und Zeit nöthig ist, um diesen Proceß auszuführen. Innerhalb zweier Temperaturgrenzen (dem Temperaturminimum des Processes und Temperaturmaximum der Processe) wird die Zeit der herrschenden Temperatur umgekehrt proportional sein.

Stellt man nun für alle Processe, Fig. 477, welche ein gegebener Keimling ausführt, Curven auf, welche die Intensität des Processes als Function der Zeit darstellen, während die Temperatur constant sein soll, so wird man eine Curvenschaar erhalten, deren Beginn und Verlauf in verschiedene Zeiten fällt. Auch ihre Incremente werden verschieden sein, weil eben eine Temperatur nicht das Optimum für alle hintereinander liegenden Processe sein kann. Schon hieraus erhellt, daß eine Wärmeconstante aus Zeit und Temperatur über den ganzen Cyklus von Processen, welche an einem Keimobject sich abspielen, bedeutungslos ist.

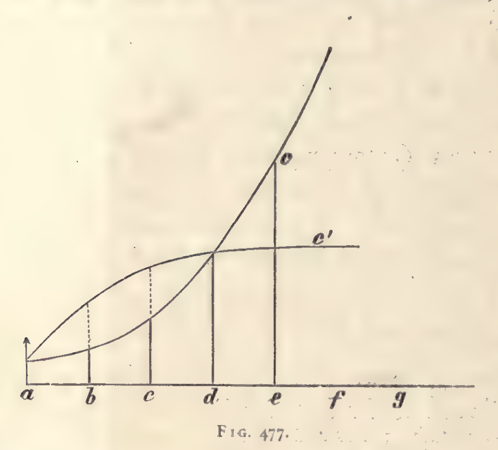


Fig. 477.

Stellen wir uns vor, es sei ein gegebener Wachsthumsproceß zu studiren und zunächst die Wachsthumscurve als Function der Zeit zu bestimmen. Die Temperatur möge, als einfachste Voraussetzung, für die Dauer des Processes constant sein.

Zunächst kann als Ordinate sowohl die Länge, das Volum, als auch die Masse des Organes oder Pflanzentheiles gesetzt werden. Der Vorgang des Wachsens, welcher jeder pflanzlichen Entwickelung zu Grunde liegt, ist damit aber offenbar nicht erschöpfend studirt. Es müssen noch die Einwirkungen von außen als die formbedingenden erkannt sein, und es muß der Wachsthumsproceß physikalisch begreiflich sein. Bei constanter Temperatur, Ernährung und Strahlung selbst wird die Wachsthumsfunction nicht eine lineare Function der Zeit aus diesen Gründen:

1⁰ streben alle Organe und Elementarorgane (Zellen, hier kommen zunächst die vegetativen Gewebe in Betracht) von dem kleinsten Anfangszustand nach dem größten Endzustand. Sie wachsen dabei erst langsam, dann rascher und zuletzt wieder langsamer;

2⁰ trotzdem die äußeren Verhältnisse als constante vorausgesetzt wurden, verändert sich ihre Gesammtwirkung auf die in der Entwickelung begriffene Pflanze, weil sich das Volum verändert, oder weil sich die aufnehmende und die bestrahlte Fläche verändert gegenüber der Masse, welche angehäuft

iſt. So iſt z. B. im jugendlichen Zuſtand der perennirenden Pflanze die Fläche kleiner, im mittleren Zuſtand größer für die Einheit der Maſſe, gegen den Endzuſtand aber wachſen wiederum die Maſſen aller Theile, die Fläche wird für die Einheit der Maſſe wieder kleiner. Dieſes Verhältniß kann zu

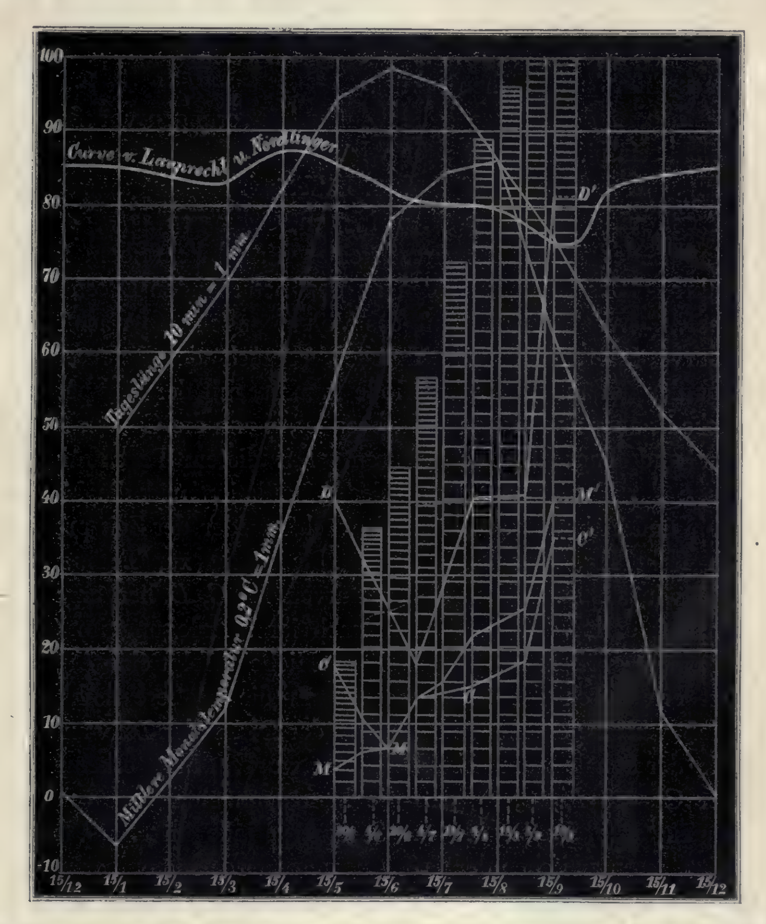


Fig. 478. Dieſe Coordinatenfigur veranſchaulicht die Entwickelung des Jahrringes als Function der Zeit für die Fichte. In den Zellenketten von 20/6, 4/6 u. ſ. f. ſind gemeſſen die Zahl und Ausdehnung einer Radialreihe des Holzes für je die betreffenden Daten. Ueber dieſen Theil der Figur ſind nun noch Curven *M M'*, *C* und *D* verzeichnet, welche die feſte Maſſe für dieſelben Zeiten angeben, die im Jahrring abgelagert iſt. Außerdem ſind verzeichnet die Curven für die Tageslängen, die mittlere Monatstemperatur[1]) und die Curve des mittleren Waſſergehaltes.

den Veränderungen der Widerſtände gerechnet werden. Verpflanzung, Wechſel in der Akklimatiſation werden hier wenig ändern, wenn nicht ganz große Temperaturintervalle in Betracht kommen. So wird der Baum von weitem Verbreitungsbezirk, z. B. Fichte, Kiefer, über Europa von der Süd-

[1]) Nach O. v. Hagen, Die forſtlichen Verhältniſſe Preußens. J. Springer. Berlin 1869.

grenze nach der Nordgrenze kleineren oder größeren Zuwachs zeigen; für alle Bäume derſelben Art wird aber unter allen Umſtänden die Zuwachscurve zuletzt ſinken müſſen, wo der Baum auch leben mag;

3° beeinfluſſen ſich die verſchiedenen Wachsthumsvorgänge an einer und derſelben Pflanze gegenſeitig. Die Seitentriebe beeinfluſſen den Haupttrieb, die Anlegung neuer Organe im mikroſkopiſchen Zuſtande wirkt auf die im Wachsthum befindlichen zurück;

4° im Innern der Pflanze gehen Zuſtandsänderungen vor ſich, welche den Zuwachs beeinfluſſen. Betrachten wir z. B. die Vorgänge am Waldbaum, die in der Fig. 478 zuſammengeſtellt ſind. Laſſen wir die nach mikroſkopiſchen Meſſungen entſtandenen Zellenreihen in den Ordinaten *20/5*, *4/6* u. ſ. f., um den Radius des Stammes rotirend, einen Ring beſchreiben, ſo erhalten wir den Jahrring des Baumes in den zu den betreffenden Daten gehörigen Zuwachsphaſen. Was nun zunächſt das Volum angeht, ſo wächſt dasſelbe, wie die Curve zeigt, und zwar durch Verbrauch des Reſervemateriales, welches aus der vorjährigen Lichtperiode ſtammt, mit der Temperaturcurve. Der Zuwachs iſt aber noch lange nicht beendet, wenn die Curven für mittlere Temperatur und Tageslänge culminiren. Mit dieſem Proceß interferiren die Vorgänge der Knoſpenentfaltung, der Aſſimilation und die Maxima der Verdunſtung und Athmung. Die Maſſe wächſt weder der Zeit proportional, noch auch ſteht ihr Zuwachs irgend in Beziehung zur Temperatur und Tageslänge, wie aus dem Verlauf der Curven *M*, *C*, *D* hervorgeht. Dieß beruht zunächſt darin, daß die Zellen, nach ihrer Anlegung im Cambiumring, nach einem größeren Volum ſtreben. Hiebei erfolgt eine Auflockerung und zuletzt erſt durch das Dickenwachsthum die größere Anhäufung der Maſſe. Dieß wurde gemeſſen, indem aus der Dicke der Zellwände die Geſammtmaſſe der Schale numeriſch berechnet wurde. Man erkennt aus dem Verlauf der Curven *M*, *C*, *D*, daß die Maſſenanhäufung, abweichend von dem Volumzuwachs, im Beginn der Sommerperiode ſinkt, um zuletzt erſt zwiſchen Ordinaten zwiſchen dem 18. Auguſt und 10. September zu wachſen.

Mit dieſer letzten Steigerung parallel geht der Verluſt an Waſſer. Das Minimum des Waſſergehaltes fällt in die Gegend der letzten Ordinaten. Nach dem Blattfall ſteigt alsdann die von Lauprecht und Nördlinger aufgeſtellte Curve wieder. In dem Maß wie der Jahrring wächſt, nimmt der Druck auf die elaſtiſche Rinde zu. Die Folge hievon iſt die geringere Ausbildung des Volums aller in der Nähe der Jahrringgrenze belegenen Zellen. Somit iſt ein hiſtologiſches Verhältniß auf einen complexen Vorgang des Wachsthums zurückgeführt. Andererſeits iſt das Interferiren mehrerer Bewegungen und zuletzt eine complexe Wirkung der Temperatur den Wachsthumserſcheinungen gegenüber hiemit erwieſen.

§ 47. Allgemeine Züge der Florengebiete, soweit sie von der Wärme abhängen.

Der Charakter eines größeren Florengebietes ift abhängig von den örtlichen Verhältniffen; in erfter Linie kommt hier die Topographie in Betracht:

1⁰ die Vertheilung von Ebenen und Gebirgen;

2⁰ Zufammenhang großer continentaler Maffen mit großer oder kleiner Küfte mit Infeln oder ohne folche;

3⁰ Nähe des Oceans;

4⁰ die geognoftifche Befchaffenheit der Unterlage;

5⁰ der Zuftand der menfchlichen Cultur, die Vertheilung der Culturflächen zu den natürlichen, das Verhältniß der Waldbeftände zu den Agriculturflächen;

6⁰ das Klima, alfo die Größe der Strahlung, der Temperatur, der Tageslänge, der Regenmenge, der Luftfeuchtigkeit u. f. f.

Diefes find die natürlichen, die Flora beherrfchenden Einflüffe. Wenn nun fchon Temperatur und Strahlung z. Th. die Urfache, z. Th. die Grundbedingung alles pflanzlichen Lebens find, fo ift doch leicht erfichtlich, daß mit Ausnahme kleinerer Gebiete und einzelner Fälle für die Einwirkung der Wärme ein directer Zufammenhang zwifchen gleichen thermifchen Verhältniffen und gleichen floriftifchen Verhältniffen nicht befteht, ebenfo wenig wie gleiche geognoftifche und topographifche Befchaffenheit zweier Gebiete nicht nothwendig zu einer Gleichheit des Florencharakters führen muß. Dieß beruht in erfter Linie darin, daß für die ganze Erdoberfläche überhaupt niemals ein ftabiler Zuftand in der Vertheilung herrfchen kann. Zieht man namentlich lange Zeiträume in Betracht, fo wird erfichtlich aus den geologifchen Befunden, daß überhaupt niemals ein ftabiler Zuftand für längere Zeit geherrfcht hat. Sehen wir zunächft ganz von den heute angebahnten Theoremen der Entwickelungslehre ab, welche allerdings die Entwickelung der Form von den thermifchen Verhältniffen abhängig erfcheinen laffen, fo lehrt doch jeder Blick in ein weiteres einheimifches Florengebiet, daß eine ftete langfame Verfchiebung der Arten ftattfindet, welche direct nicht abhängig ift von den oben namhaft gemachten Grundurfachen. Ein Theil der Verfchiebung wird durch Menfchenhand beforgt, fo ift es für den Charakter der Flora nicht gleichgültig, ob die Italiener ihre Wälder ausrotteten, während die Deutfchen eine confervative Forftwirthfchaft treiben, ob die fteilen Hänge der Voralpen entwaldet find oder nicht, ob die Lüneburger Haide aufgeforftet wird oder nicht. Mit dem Wald verfchwinden zunächft alle fchattenbewohnenden Pflanzen, welche das

Florengebiet charakteriſtiſch machen. Mit dem Feldbau verſchwinden z. B. alle Orchideen, Liliaceen u. a. m. auf dem Muſchelkalk, welche die Gegend floriſtiſch reich machten, ſo lange der Wald in dem Gebiet noch vorherrſchte. Andererſeits ſchließt das Schattendach des Waldes an und für ſich die nicht ſchattenertragenden Mitbewerber um das Areal aus, während die Agrikulturfläche einer großen Anzahl von Einwanderern Zutritt geſtattet. Ganz von dieſen Einflüſſen der menſchlichen Oekonomie abgeſehen, muß dennoch draußen eine ſtete Bewegung der Formen (Arten) herrſchen, welche man die Diffuſion nennen kann, d. h. von dem Wohnort der Form herrſcht eine im Organismus liegende Bewegungsurſache, welche die Art hinaustreibt. Verdrängt ſie die Bewohner des nächſten Areals nicht, ſo dringt ſie doch in die Lücken ihres Wohngebietes ein. Dieſer Zug, zu wandern, ſich von dem urſprünglichen Wohnort zu verbreiten, muß als ein ganz allgemeiner angeſehen werden. Erleichtert wird dieſe Wanderung durch die Flüſſe und Luftſtrömungen, welche weit entfernte Florengebiete verbinden, ſo z. B. die Alpenflora und die mittelrheiniſche, in welcher mehrere alpine Auswanderer hie und da herrſchend ſind, z. B. Euphorbia Gerardi, Poa alpina, Saxifraga aizoïdes u. a. m. Die Flora im oberen Rhonethal hat mehrere ganz auffällige Züge mit der rheiniſchen Flora gemein. Die Flora der Kiesbänke in faſt allen Hochthälern der Flüſſe, welche den Alpen entſpringen, iſt die gleiche. Hier gehen gleiche Formen der Tiefebene thalauf, finden oben wenig Widerſtand; andere Formen kommen aus den Seitenthälern thalab.

Das Gebirge und insbeſondere das Hochgebirge erſchwert aber im Allgemeinen die Diffuſion:

1⁰ wegen des ſchwierigeren Uebergangs über die eisbepanzerten oder felsrippigen Kämme und Sättel;

2⁰ wegen der Abnahme der Temperatur von unten nach oben — wegen der allmäligen und endlich doch totalen Veränderung aller klimatiſchen und geognoſtiſchen Bedingungen des Pflanzenlebens.

So kommt es, daß im Gebirge allerdings die Vegetationscentren ſich ſchichten, wie dieß in den nachfolgenden Tabellen überſichtlich gemacht iſt.

Eine derartige Zone zeigt indeß immer noch alle Spuren der Diffuſion, namentlich für die niederen krautartigen Pflanzen, welche z. Th. in allen Höhenſchichten zwiſchen 5000 und 9000 F. über dem Meer in derſelben Breite angepaßt ſind. Die Böſchung an ſich iſt z. B. ſchon die Bedingung, welche manchem Waldbaum beſſer zuſagt wegen der Beſtrahlung, z. B. die Lärche im Hochgebirg; die obere Grenze der Fichte rückt in dem weiten Verbreitungsbezirk dieſes Baumes höher hinauf da, wo zahlreiche Hochgebirgsmaſſen dicht nebeneinander ſtehen, ſie wird herabgedrückt in der Nähe des Meeres und großer Ebenen.

Schema für die Pflanzenregionen in ihrer verticalen und horizontalen Ausdehnung.

Elevation unter 0° n. Br. in Fußen ü. d. M.	Mittlere Temperatur.	Pflanzentypen in der Breite 0.			In diesen Zonen liegen die Höhengrenzen im Mittel in Fußen ü. d. M.
0	27—30	I. Palmen, Feigen, baumartige Farren und Orchideen	entspricht der Aequatorialzone bis	15° n. Br.	I. 1000′—1500′ ü. M., II. 2800′ bis 3000′, III. 3900′—4500′, IV. 4000′—6000′, V. 6000′ bis 7000′, VI. 7000′—9000′, VII. 9000′—11 000′.
2000	23,5				
		II. Myrten, Lorbeer, Laurineen	» » tropischen Zone	15—23° »	II. bis 2000′, III. bis 3000′, IV. 5000′—6000′, V. 6000′—8000′, VI. 8000′—10 000′, VII. 10000′ bis 11 000′.
4000	20				
		III. Immergrüne Waldbäume	» » subtropischen Zone	23—34° »	III. bis 3000′, IV. 3000′—4000′, V. bis 6000′, VI. bis 8000′, VII. 9000′—10 000′.
6000	17				
		IV. Periodisch beblätterte sommergrüne Laubbäume, Weincultur	» » warmen gemäßigten Zone	34—45° »	IV. bis 2000′, V. bis 4000′, VI. bis 6000′, VII. bis 8000′.
8000	14				
		V. Nadelhölzer	» » kalten » »	45—58° »	V. bis gegen 1000′, VI. bis 4000′, VII. bis 5000′.
10 000	11				
		VI. Alpenrosen	» » arctischen »	58—66° »	
12 000	7				
		VII. Hochalpine rasenbildende Kräuter	» » polaren »	66—72° »	und weiter, Region des ewigen Eises.
14 000	3—4				

Vegetationsgrenzen in den Hauptgebirgen von Südamerika, Asien, Europa (nach A. v. HUMBOLDT's Kosmos, Atlas von TRAUGOTT BROMME).

Die Höhenangaben in Pariser Fußen.

Gebirge.	Tropische und warme gemäßigte Zone.	Gemäßigte Region.	Alpine Region.
I. Anden. Chimborazo 20,000′.	Bis 5000′ ü. M. Untere Grenze: 3000′ für Mais; Region des Café, Zuckerrohr, Baumwolle zwischen 1200 und 4200′. Obere Grenze für Banane, Cocos, Cacao bei 3000′.	Bis 10,000′ ü. M. Untere Grenze für Eichen, Cinchoneen, Getreide zwischen 5000 und 6100′. Obere Grenze: Mais 6100′, Cinchoneen 7700′, Getreide 9200′, Eichen 9500′.	Bis 15,000′. Zwergsträucher bis 13,000′.
II. Teneriffa. Pico de Tyde 11,454′ ü. M.	Obere Grenze bis 4000′. Palmen, Pisang bis 1200′, Wein, Getreide bis 2900′, Lorbeer 4000′.	Obere Grenze bis 6000′. Obere Grenze der Nadelhölzer 6000′.	Bis 11,454′.
III. Himalaya. Dhawalagiri 26,345′.	Bis 6600′. Untere Grenze der Farrenkräuter 3700′; obere Grenze der Palmen, Lianen 6100′, Farrenbäume, Pisang 6600′.	Bis 11,400′. Obere Grenze der Laurineen bei 8400′, Magnoliae 9400′, Bambus, Eichen, Coniferen bis 11,300′.	Im Norden bis 15,500′, im Süden bis 14,500′.
IV. Alpen. Monte Rosa 14,222′.		Bis 7000′. Obere Grenze der Obstbäume bei 3200′, Getreide 3400′; obere Fichtengrenze 800 — 4000′, Kiefer, Birke 1500′.	Im Norden bis 8000′, im Süden bis 10,000′.

Florencharakter in den Gebirgen Mitteleuropa's.

Schweizer und Tiroler Alpen, bairische Voralpen. Erhebung bis 15,000' ü. M.			Carpathen.	Riesengebirge.	Thüringer Wald.	Harz.	Oberschlesien.
Weinbau, Eichenschälwald, Kastanie, Nußbaum	bis	1500'	1000'	900'	800'	600'	200'
Eiche, Esche, Erle, Hainbuche, Ulme	»	2400'	2200'	1800'	1600'	1400'	1200'
Buche, Birke, Getreidebau	»	4500'	4100'	3000'	2600'	2500'	2000'
Fichte, Bergahorn, Vogelbeere	»	6000'	5500'	4600'	4000'	3600'	3500'
Zirbel- und Bergkiefer, Lärche	»	7000'	6600'	—	—	—	—
Alpensträucher, Rhododendron, Empetrum u. a.	»	8000'	7800'	—	—	—	—
Oberste hochalpine Flora, Gletscherweiden	»	9000'	8800'	—	—	—	—
Schnee und Firn	»	15,000'	—	—	—	—	—

Vegetationsgrenzen in Süddeutschland und den Alpen.

Region.	Charakterpflanzen.	Höhe.	
Untere Ebenenregion	Juglans, Castanea, Vitis	1200'	390 m
Obere »	Juglans	1200—1700'	552 »
Untere Bergregion	Quercus	1700—2500'	812 »
Obere »	Fagus	2500—4300'	1396 »
Voralpen	Fichte	4300—5300'	1721 »
Untere Alpenregion	Krummholz	5300—6100'	1986 »
Obere »	Heidel- und Preißelbeere	6000—7100'	2306 »
Firn- bis Schneegrenze	Gletscherweiden, hochalpine Gentianen, Primulaceen, Compositen, Flechten, Moose	7000—8500'	2630 »

Obere Baumgrenze in Europa.

Wir stellen uns einen meridianen Durchschnitt durch Mitteleuropa her, indem wir die wichtigsten Gebirgszüge alle in denselben Meridian gerückt denken.

N. Breite.	Gebirge.	Höhe in Metern ü. d. M.									
		Baumwuchs		Buche, Fagus ſilvat.		Fichte, Picea excelſa		Kiefer, Pinus ſilveſtris		Bergkiefer, Pinus montana	
		u. G.	o. G.	u. G.	o. G.	u. G.	o. G.	u. G.	o. G.	u. G.	o. G.
44°	Monte Cunone (Apennin)	—	—	990	1900	—	—	—	—	—	—
44,15°	Mont Ventoux	—	—	310	1500	—	1720	—	—	—	—
46°	Monte Roſa	—	—	—	1560	—	2100	—	1950	—	2400
46,30°	Jungfrau	—	780	—	1460	—	1900	—	1810	—	—
47°	Pilatus	—	—	—	1360	—	1800	—	—	—	—
47,15°	Chaſſeral (Jura)	—	700	—	1250	—	—	—	—	—	—
48°	Feldberg (Schwarzwald)	—	650	—	1350	—	—	—	1200	—	1500
49°	Rachel und Arber (baieriſcher Wald)	—	970	—	1250	—	1460	—	920	—	1470
50°	Altvater	—	510	—	1290	—	1320	—	790	—	—
50,30°	Rieſengebirge	—	500	—	1290	—	1300	—	780	—	1500
51,45°	Brocken	—	490	—	650	—	1001	—	650	—	—

Die hochalpine und Gletſcherflora in dem Raum von 8000 bis 10,000 F. über dem Meer, ſo lange noch flache Felſenmaſſen, mit Schutt bedeckt, den Bewegungen des Gletſchers gegenüber beſtehen können, iſt verhältnißmäßig reich an Verwandtſchaftskreiſen.

Es rückten urſprünglich die härteren Formen aller tieferen Regionen nach dem Wohnort vor, weil ihnen von höheren, aber zarteren Mitbewerbern der Platz nicht ſtreitig gemacht wird. Die einzigen Concurrenten ſind die Flechten mit langſamem Wachsthum und einer noch größeren Anſpruchsloſigkeit.

Die äußeren Bedingungen der hochalpinen und auch der arctiſchen Florengebiete liegen in dem Mangel der Beſchattung durch den Wald, in dem vollkommenen Lichtgenuß, in den äußerſten Extremen der Wärmeaus- und -einſtrahlung. Die Bodenunterlage an der Grenze des ewigen Schnees iſt reich an Verwitterungsprodukten der Geſteine. Der Zuwachs der Humusdecke iſt ein langſamer, bezogen auf die Tieflande.

Allgemeine Habituszüge hochalpiner und arctiſcher Pflanzen liegen in der Beſtockung. Der Stamm iſt ein perennirendes Rhizom mit dichter Verzweigung, Compoſiten z. B., oder er bildet Blattroſetten, welche die Verjüngung aus den Axillarſproſſen beſorgen: Primulaceen, Saxifragen u. a. m. Ein Schutzmittel gegen die Ausſtrahlung, ſowie gegen die mechaniſchen Störungen, wird gewonnen durch die Bildung dichter Colonieen (Raſen) bei den Gentianen, bei Aretia, Androſace, bei vielen Alſineen. Eine große Anzahl hochalpiner Pflanzen zeichnet ſich durch dichte Behaarung aller derjenigen vegetativen Organe aus, welche der Strahlung

ausgesetzt sind[1]). Der hervorragende Zug aber liegt jedenfalls in den Dimensionen, welche alle Organe erlangen. Es wird an der Grenze der Vegetation vorzugsweise in der Längsrichtung sparsam gewirthschaftet. Die Formen sind Miniaturformen, bezogen auf ihre günstiger situirten Verwandten in der Ebene. Gleichwohl wird die Blüthe reich ausgestattet. Großblüthige Formen finden sich bei den hochalpinen Gentianen, Primeln, Soldanellen, Ranunculaceen.

Systematisch läßt sich die hochalpine Flora nicht scharf umschreiben. Es herrschen zwar einige Formen und Familien vor, so die Gletscherweiden, die Rhododendren, Primulaceen, Saxifragen, Cruciferen, Ranunculaceen, Gentianeen, vor allen aber die Compositen[2]). Als Centrum der Familien kann das hochalpine Florengebiet gleichwohl nur angesehen werden für sehr wenige. Dem mitteleuropäischen Alpengebiet ist allein eigenthümlich die Wulfenia carinthiacea (auf der Kühweger Alpe in Oberkärnthen). Der Faulhorngipfel besitzt 132 Phanerogamen, 40 davon kommen auch in Lappland, 8 Arten davon kommen auch auf Spitzbergen vor. Im Mer de glace, im Montblancgebiet, in dem sogenannten Gletschergarten SAUSSURE's, kommen 87 Phanerogamen vor, von welchen 24 in Lappland, 5 in Spitzbergen leben.

Die Vertheilung der Wärme an der Erde ist abhängig, außer von der Breite, von der Gestaltung der Küsten und der größeren Festlandsmassen dem Ocean gegenüber. Da die südliche Halbkugel eine beträchtlich geringere Festlandmasse aufweist, ist auch unter gleicher Breite die Flora eine andere, im Allgemeinen reichere wie in der nördlichen Halbkugel. Das Meer spielt dort eben die Rolle eines unermeßlichen Wärmereservoirs. Aus demselben Grunde wirkt noch die Configuration der Continente in der nördlichen Halbkugel, insofern die Westküste Nordamerika's beträchtlich wärmer und reicher an Niederschlägen ist, wie die Ostküste; ebenso ist die Westküste Europa's bevorzugt vor der Ostküste Nordamerika's durch die westöstlichen Strömungen des atlantischen Meeres (Golfstrom). Die nördliche Baumgrenze liegt in Europa unter höherer Breite wie an der Ostküste in Nordamerika. Baumwuchs herrscht noch an der Westküste Scandinaviens, während unter derselben Breite die Ostküste Nordamerika's jenseits der Baumgrenze liegt. Zu den ersten und allgemeinen Anpassungen an die klimatische Periode gehört der Knospenschluß und der Blattfall derjenigen Bäume, welche den Waldgürtel der nördlichen Halbkugel beherrschen. Hier ist es

---

[1]) Reichlich behaarte Compositen finden sich indeß auch herrschend an trockenen, schattenlosen Standorten der Ebene, z. B. die Gattung Gnaphalium.

[2]) Die Alpenflora der neuen Welt weicht von der europäischen ab. Dort sind an Stelle der Rhododendren die Befarien und Ecallonien. Unter den Kräutern herrschen die Gattungen: Mimulus, Calceolaria, die Loasaceen, buschige Compositen und Cacteen, neben europäischen Gattungen.

wirklich die Noth, welche die Pflanze zwingt, die empfindlicheren Organe zu ſchützen. Eine ſcheinbare Ruhe tritt ein, während die Temperatur durch ihr Minimum hindurchgeht. Gleichwohl kommt es auch in der ſüdlichen Zone zum Blattfall und zur periodiſchen Ruhe. Die Jahrringgrenze im Holz der periodiſchen und immergrünen Laubbäume, welche die tropiſche Zone bewohnen, iſt weniger markirt. Eine natürliche Eintheilung der Florengebiete, wie ſie früher angebahnt, läßt ſich auf Grund der Exiſtenzbedingungen, welche oben (S. 609) die natürlichen Grundbedingungen genannt wurden, nicht aufſtellen. Gleiche äußere Bedingungen haben eben die Bewohner wohl gleich gemacht, die Anzahl verſchiedener Formen und ihre Diffuſion iſt indeß ſo groß, daß die jetzigen Florengebiete eher nach den Pflanzenformen und -familien, als nach den natürlichen Grundbedingungen des Pflanzenlebens im Wohnort aufgefaßt werden können. Wir kommen demgemäß zum Zweiten:

Der Florencharakter hängt nicht allein ab von den natürlichen Grundbedingungen des Wohnortes, ſondern auch von dem jeweiligen, labilen Gleichgewichtszuſtand in der Vertheilung der Bewohner und deren Charakter.

Die Flora wird charakteriſtiſch: durch die Anzahl der Formen, beziehentlich der verſchiedenen Verwandtſchaftskreiſe, durch die Anzahl und Ausdehnung der herrſchenden Arten.

Schon die natürliche Vertheilung im engeren Florengebiet zeigt, daß an beſtimmten Stellen das Centrum einer Form (Art), beziehentlich eines Verwandtſchaftskreiſes (Gattung, Familie), liegen muß, ohne daß man immer in der Lage wäre zu entſcheiden, welches nun alle Momente ſind, welche den betreffenden Wohnort für die gegebene Pflanze geeignet machen. Das Centrum einer Art iſt der Ort, wo dieſelbe am häufigſten vorkommt. Das Centrum einer Familie iſt der Ort, wo dieſelbe die zahlreichſten Arten und die zahlreichſten herrſchenden Arten aufweiſt. Zwiſchen den Centren und den natürlichen Grundbedingungen beſteht im Allgemeinen kein directer Zuſammenhang.

Das Florengebiet iſt z. Th. nach den natürlichen Grundbedingungen definirt, z. a. Th. aber auch durch die Centren ſeiner Bewohner. Dieß iſt nach dem jetzigen Stand der Wiſſenſchaft auch der natürliche Weg, dem Gegenſtand näher zu kommen.

Griesebach[1]) ſtellt z. B. für Europa drei größere Florengebiete auf: die arctiſche Zone, die Region der geſelligen Wälder und die Mediterranzone. Von dieſen geht die charakteriſtiſche Region der geſelligen Waldbildner über die ganze nördliche Halbkugel mit vicariirenden ſtellvertretenden Arten gleicher Gattungen, z. B. Quercus, Pinus, Abies, Picea in Aſien

[1]) Griesebach, Vegetation der Erde.

und Amerika. Von diesen sind bei uns im Forstbetrieb gleichwohl nur 5—6 Arten herrschende Waldbäume[1]).

Unter diesen wird die Buche, der charakteristischste Waldbaum unter den Laubhölzern, auf Mitteleuropa bis zur Südspitze Scandinaviens eingeschränkt, durch die Spätfröste an der Nordgrenze, durch die zu geringe Regenmenge an der Südgrenze (südliches Frankreich). Ganz enge Centren besitzen Weißtanne und Zirbelkiefer. Die erstere ist auf die Gebirgszüge Süddeutschlands und die letztere auf die östlichen Hochalpen beschränkt. Die Eiche ist in Deutschland kaum ein herrschender Waldbaum zu nennen.

Unter den allgemeinen Zügen der Vertheilung im Gebirg und der Ebene ist in diesem Gebiet hervorzuheben, daß die äußerste Baumgrenze von Nadelhölzern allein beherrscht wird.

Das asiatische Festland wird von Griesebach in fünf Florengebiete eingetheilt:

1° bis zum 70. Breite-Grad annähernd die arctische baumlose Zone;
2° der Gürtel geselliger Waldbildner bis zu 50° nördlicher Breite;
3° die Flora der Steppen;
4° das Gebiet von Vorderindien;
5° das indische Monsoongebiet;
6° das arabische Gebiet und
7° das chinesisch-japanesische.

Als hervorragende Centren für Verwandtschaftskreise, welche auch über Europa ausgebreitet sind, sind zu nennen: die Umbelliferen und Aralien für das Steppengebiet, die Magnolien und Camelliaceen des chinesisch-japanesischen, die Cannaceen, Zingiberaceen, Palmen, baumartigen Farrenkräuter des indischen Gebietes.

Das nordamerikanische Waldgebiet enthält vicariirende Pinus Abies- und Piceaarten, welche mit denjenigen der alten Welt die nächste Verwandtschaft zeigen. Der Zusammenhang der Florengebiete oder der Stammbäume der Arten wird aber noch durchschlagender durch die vicariirenden Eichenarten dargethan, deren Nordamerika gegen 20—30 Arten aufweist. Eigenartig ist dieser Continent durch das Centrum der Grassteppen (Pampas, Prairiegebiet) und die Flora des Tafellandes Mexico's (baumbewohnende Orchideen, Cacteen, baumartige Compositen).

Südamerika umfaßt nach Griesebach 5 Florengebiete: das Waldgebiet

---

[1]) Die Kiefer Pinus silvestris, die Bergkiefer Pinus montana (mit den Varietäten Pinus uncinata, Pinus Pumilio, Pinus Mughus), die Fichte Picea excelsa, die Tanne Abies pectinata, die Lärche Larix europæa, die Zirbelkiefer Pinus Cembra. Unter den südlichen Pinus austriaca in Oesterreich-Ungarn, Pinus halepensis für den Orient, Pinus Pinaster, die Igelföhre der Mediterranzone, Abies Nordmanniana für die Krim und das südliche Rußland, Quercus pedunculata, Quercus sessiliflora und die Buche Fagus silvatica.

Patagoniens, die Hylæa, das brasilianische Gebiet, die Anden (Centrum der Cinchoneen) und das cisæquatoriale Südamerika.

Der genetische Zusammenhang der Florengebiete ist durch die vicariirenden Arten erwiesen. Wie die Entwickelung der ganz extremen Pflanzenformen zu denken ist, kann nicht Gegenstand der vorliegenden Abhandlung sein, da hierzu noch die natürliche Entwickelungsgeschichte der Pflanzenfamilien und die Kriterien ihrer Verwandtschaft in's Auge gefaßt werden müssen. Der Einfluß von Klima und Wohnort kann dahin zusammengefaßt werden:

a) die Art (im botanischen Sinne) kann äußerlich in weiten Grenzen der Verbreitung (etwa ein ganzer Erdtheil) in der Form ihrer Organe gleich constant sein oder nur geringfügige Varietäten der Form besitzen, welche indeß nicht Anpassungen an die Bedingungen des Wohnortes zu sein brauchen, gleichwohl können die Individuen derselben Art an das Klima so angepaßt sein, daß sie sehr verschiedene Ansprüche an die thermischen Verhältnisse stellen;

b) selbst die klimatisch starren Formen, z. B. die Waldbäume, können eine absolute Wärmeconstante nicht besitzen;

c) die Größe, Form und Farbe lassen sich zum Theil bei gewissen Arten als abhängig vom Standort und den thermischen Verhältnissen erweisen. Es müssen diese daher in gleichem Sinne auswählend wirken, wie die Summe aller der Widerstände für die Ausbreitung der Art, welche Darwin unter dem «Kampf um's Dasein» zusammenfaßt[1]).

---

[1]) Durch die vorstehende Betrachtung wird ein Anschluß an die im zweiten Buch enthaltene allgemeine Morphologie und Entwickelungslehre gewonnen.

Der Artbegriff wurde nach der Methode der älteren Systematik gebildet aus diesen Beobachtungen an dem vorliegenden Individuum:

a) Größe des ganzen Individuums, Relation der Größe von Blättern, Interfolien, Blüthen;

b) Gliederung des Stammes, Zweigbildung, geometrische Verhältnisse der Blüthenstände;

c) Form der Blätter:

α) die Form der Blätter schwankt vom Keimblatt nach den Hochblättern an einer Art;

β) die Form ist an einer Art mindestens für die Laubblätter constant;

γ) Form und Farbe, sowie Behaarung schwanken an einer und derselben Art je nach dem Standort;

d) Stellung der Blätter. Die Blattstellung, früher von Manchen als constantes Merkmal angesehen, variirt an einem Individuum, selbst an einer Art, und der Nachweis ist geliefert, daß dieselbe von inneren wie äußeren mechanischen Bedingungen abhängig und mit diesen veränderlich ist;

e) Gliederung des Blattes;

f) Gliederung und Farbe der Blüthe;

g) innerer Bau der Blüthe;

h) Entwickelung des Embryo's und Keimungsgeschichte.

§ 48. Pathologische Phänomene im Gefolge des Temperaturwechsels.

Eigentliche Krankheitserſcheinungen in Folge ungünſtiger Wärmeverhältniſſe ſind bis jetzt nicht bekannt. Die Pflanze in der freien Natur hat ſich entweder den klimatiſchen Verhältniſſen angepaßt, oder ſie geht durch die Strahlung oder Kälte ganz oder in einzelnen Theilen zu Grunde. Wir können die Phänomene, ſoweit ſie bekannt ſind, in dieſem Sinne zuſammenſtellen:

A. Hohe Temperatur.

Directe Tödtung durch zu hohe Temperatur im freien Leben wird nur vorkommen bei Verpflanzungen und Akklimationsverſuchen. Verſuche[1]) über die höchſten Temperaturen, welche von lebenden Pflanzen ertragen werden, haben ergeben, daß die unterſuchten Pflanzentheile verſchieden empfindlich ſind:

Ein großer Theil dieſer Beobachtungen läßt ſich auf Wachsthumsvorgänge ſelbſt im mechaniſchen Sinne zurückführen. Die Relationen der Wachsthumsgrößen nach den drei Dimenſionen eines Organes bedingen aber deſſen endliche fertige Geſtalt. Eine mechaniſche Theorie der Entwickelung, welche den Artbegriff feſtſtellt, iſt zur Zeit nicht möglich. Die Entwickelungslehre im Sinne Darwin's und Häckel's kann daher nicht eine mechaniſche genannt werden, weil ſie von vornherein nicht erklärt, warum der Organismus zu variiren anfängt. Die Variation in der äußeren Form und in der (molecularen) Structur wird an ſich als etwas Selbſtverſtändliches hingeſtellt. Die mechaniſche und beſonders die phyſiologiſche Theorie aber muß erklären, warum die Art und Form überhaupt variirt.

[1]) Bei einem Aufenthalte von 15 bis 30 Minuten in Luft, Waſſer und Erde wurden ertragen oder gingen zu Grunde:

	in Waſſer		in Erde	
	ertragen.	todt.	ertragen.	todt.
Zea Mais	45	47	50	52
Tropæolum majus	45,5	47	50	52
C. Aurant.	47,8	50	50	51
Phaſeol. vulg.	45	47	—	—
Petroſelinum	45	47	—	—

Für Waſſer W und Luft L; A ertragen, B todt:

	W		L	
	A	B	A	B
Iris florentina, Wurzelblatt	49	51	55	57.

Nach H. de Vries, *Infl. de la temp. sur les plantes. 1871. Extrait des «Archives Néerlandaises»*. — H. v. Mohl, Ueber das Erfrieren der Zweigſpitzen mancher Holzgewächſe. Bot. Ztg. 48.

1° der Tod tritt ein bei halbstündigem Verweilen in einer Temperatur von 50°, einige Grade mehr oder weniger;

2° in der Erde wird im Allgemeinen eine höhere Temperatur eben noch ertragen, als wenn die Pflanzentheile im Wasser liegen;

3° andererseits ertragen dieselben Pflanzentheile eine höhere Temperatur in der Luft als im Wasser;

4° die Symptome des Todes machen sich bemerklich im Verlust des Turgors der Membranen, in der Contraction des Protoplasma, in dem Verlust der Impermeabilität in der Membran sowohl wie im Protoplasma. Die sauern und alkalischen Säfte, welche in der lebenden Pflanze in differenten Zellen in chemischem Sinne getrennt erhalten bleiben, diffundiren. Die chemische Differenz geht verloren. In gleichem Sinne diffundiren die gelösten rothen, violetten und blauen Pigmente, welche in den lebenden Zellen zurückgehalten werden.

B. Niedere Temperatur.

Anders wie bei der oberen Temperaturgrenze liegt die Sache an der unteren Temperaturgrenze. Es wurde schon oben darauf hingewiesen, daß der Pflanzenkörper in sich selbst nicht Eigenwärme genug producirt, um der Ausstrahlung gegenüber eine höhere Temperatur als die Umgebung zu behaupten. Die Temperatur der vegetativen Theile ist niemals dauernd weit von der Temperatur der Luft, allgemein der Medien, entfernt. Je nach der Herkunft erfrieren in den botanischen Gärten die nicht akklimatisirten Formen sonst dauernder Gewächse entweder nur in den zu spät geschlossenen Trieben oder in den Lohden, welche sich bei uns überhaupt nicht zum Knospenschluß anschicken. Bei anderen erfriert nur die Endknospe.

1. Tod durch Frost über dem Gefrierpunkt des Wassers.

Der Tod durch Frost über dem Gefrierpunkt beruht jedenfalls in einer Störung der vegetativen Processe, indem zum Theil die Athmungsgröße herabgemindert, andererseits die Translocation und Verdunstung unter das günstige Maß herabgedrückt sind. Die sichtbare Bewegung des Protoplasma's ist schon bei 4° über 0° sistirt. Die Symptome des Todes sind im Allgemeinen dieselben, wie sie jenseits der höchsten nützlichen Temperaturen geschildert wurden, nur verläuft die Abtödtung im Allgemeinen langsamer.

2. Vereisung.

Die Vereisung der Pflanzensäfte, die vollständige Erstarrung des Protoplasma's und (vielleicht) auch die Vereisung des Imbibitionswassers in den weiteren Interstitien der Membranen bewirken bei den nordischen Pflanzen

an fich nicht den Tod. Die Stromnetze der Ekballien, Charen, welche im Eis künftlich vollftändig erftarrt waren, gerathen bei langfamem Aufthauen wieder in Bewegung.

a) Langfames und rafches Aufthauen.

Die Vereifung der Säfte und des Protoplasma kann mindeftens bei den nördlichen Pflanzen ertragen werden, wenn der Temperaturwechfel, welcher das Aufthauen herbeiführt, ein allmäliger ift. Plötzliche Steigerung

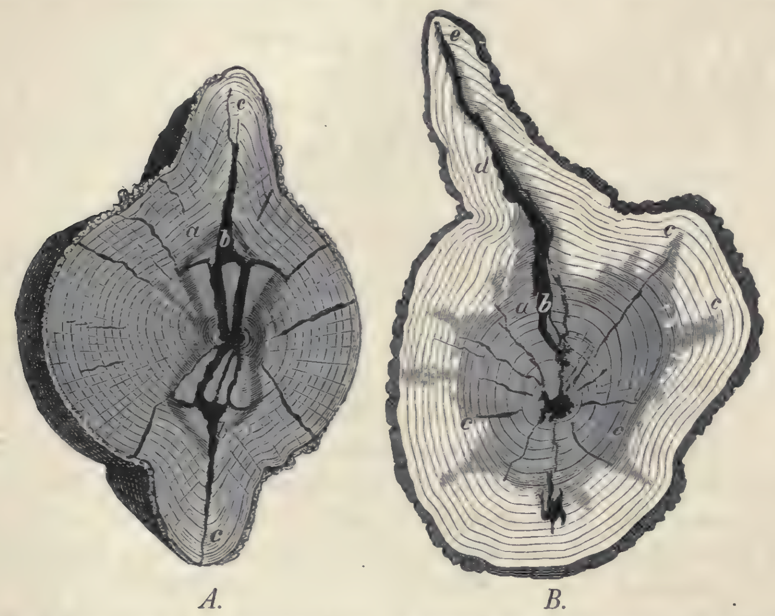


FIG. 479. *A.* Fagus filvatica L. *a* Jahresringe, *b* und *c* die einander gegenüberftehenden Froftriffe und Froftleiften (1/2 m Durchmeffer). *B.* Acer Pfeudoplatanus L. *a* und *b* Froftriffe, *c* Ueberwallungslagen, *d* und *e* Schluß (1/2 m Durchmeffer). Nach GÖPPERT.

der Temperatur aber führt den Tod herbei, fowohl bei faftigen Pflanzentheilen, fo z. B. Kartoffel, Rüben, faftigen Früchten u. a. m., als auch an den glattrindigen Zweigen der Buche, wo rafcher Froft und rafche Wärmeftrahlung die Rinde abtödten und zum Zerreißen bringen.

b) Froftriffe[1]).

Die Froftriffe entftehen an Nadel- und Laubhölzern an erwachfenen Stämmen, meift an exponirten Orten, wo die Strahlung erleichtert ift, fo

[1]) Durch hohen Druck wird der Gefrierpunkt des Eifes in der Scale *100, 99 . . . . 2, 1, 0, — 1, — 2 . . . . — 273* herabgedrückt, bei dem Druck von 16 Atmofphären z. B. um 0,232° beobachtet (0,227° C. berechnet aus den Daten der mechanifchen Theorie der Wärme)!

z. B. an Randbäumen, an steilen Flußufern, welche frei nach dem Thalbett belegen sind. Zumeist in klaren kalten Nächten, nachdem die Säfte im Baum bereits vereist sind, reißt der Stamm mit einem Schlag und einem Knall (von der Stärke eines Büchsenschusses) auf. Die Spaltfläche steht radial, s. Fig. 479, und geht parallel der Faser in steilen Spiralen oft auf meterweite Strecken um den Schaft. Sie erstreckt sich meist von der Peripherie bis zum Marke und ist im Beginne immer nur von capillarer Querausdehnung. Der Rand bildet einen Callus, welcher die Wunde aber selbstredend, da die älteren Holzlagen nicht vermehrungsfähig, nur äußerlich schließt. Nun aber kommt der Sommer. Der Spalt öffnet sich, nach den Schilderungen über Quellen und Schrumpfen (s. oben, S. 91, § 15, Fig. 107) reißt der Holztheil des Callus von innen nach außen ein. Der Rindencallus vermag die Dehnung auszuhalten. Im zweiten, dritten Jahre und so fort schließt sich die Wunde jeweilig wieder. Der callose Zuwachs wird aber durch den Reiz der Verwundung stärker, und so entsteht zuletzt nach 20 bis 30 Jahren ein mehrere Centimeter starker, über die Stammfläche vorstehender, dem Riß folgender Wulst, als charakteristisches, äußeres Kennzeichen der so tief in den Stamm eingreifenden Verwundung. Zur Theorie dieses Vorganges muß beachtet werden, daß, wenn die Vereisung des Imbibitionswassers in dem Stamme eingetreten ist, die Zugfestigkeit des Holzes an sich beträchtlich verringert ist. Die Cohäsion wird im Holz der Bäume senkrecht zur radialen Richtung unter geringerem Zug aufgehoben, wie senkrecht zu jeder anderen Axenrichtung. Ferner ist die Contraction bei plötzlicher Temperaturerniedrigung in tangentialer Richtung größer, wie in radialer, so erfolgt das Zerreißen in der Radialrichtung unter der Einwirkung einer ungeheuren Spannung. Die Volumverminderung ist gleichwohl nur eine minimale; der Frostriß ist im Beginn eine fast capillare Spaltfläche[1]).



Fig. 480. Epheu. Die unteren Blätter *a b* zur Zeit der Entwickelung vom Nachtfrost getödtet; die oberen Blätter normal entwickelt.

c) In der Streckung befindliche Organe.

Der Tod durch Spätfröste tritt rascher ein in allen jugendlichen, noch in der Streckung befindlichen Organen, so namentlich an den jungen, eben entfalteten Laubtrieben der Bäume. In der Figur 480 ist ein Epheuzweig-

---

[1]) Dr. Rob. Caspary, Ueber Frostspalten. (Mit einem Beitrage meteorologischer Betrachtungen von Dr. C. F. Schneider.) 449. 73. 89. Bot. Ztg. 55.

lein dargeftellt, welches in dem Moment, wo die Interfolien zwifchen den kleinen Blättchen *a*, *b* fich ftreckten, im Zeitpunkt der Knofpenentfaltung von einem Spätfroft befallen wurde. Die oberen Blätter waren zu diefer Zeit noch nicht in der Streckung begriffen. Der Erfolg war diefer: die unteren Blättchen erfroren und erlangten nicht die gewohnte Größe, die oberen entfalteten fich in normaler Weife, trotz des geringen Schutzes, welchen die bereits geöffnete Knofpe gewährte.

---

§ 49. Elektricität[1]).

Soweit in diefem Gebiet zuverläffige Experimente vorliegen, hat man zwei Arten von Unterfuchungen zu unterfcheiden:

1⁰ die Einwirkung elektrifcher Entladungen, Inductionsfchläge und conftanter elektrifcher Ströme auf lebende Pflanzen oder Pflanzentheile;

2⁰ den Nachweis der im Gefolge der Lebenserfcheinungen in der Pflanze herrfchenden elektrifchen Ströme.

A. Einwirkung der Elektricität.

In erfter Linie muß hier darauf aufmerkfam gemacht werden, daß die Experimentatoren wohl meiftens fo ftarke Entladungen oder conftante Ströme anwandten, daß die Intenfität der etwa in der Pflanze herrfchenden Ströme dagegen verfchwindend klein ift. Man kann fich zu diefen Studien, foweit fie am Mikrofkop angeftellt werden, der oben befchriebenen und abgebildeten Apparate bedienen. Für Verfuche an größeren Pflanzentheilen fchaltet man diefe in den Kreis mit Hülfe von Elektroden aus Platinblech, welche um den Pflanzentheil gewickelt oder in denfelben eingefchoben werden:

a) die Leitungsgefchwindigkeit des elektrifchen Stromes ift in den Zellenmembranen, bezogen auf die Leitung in Metallen, verfchwindend klein;

b) elektrifche Entladungen bewirken an der lebenden Mimofa den Uebergang aus der Tag- in die Nachtftellung. Der Anftoß kann

---

[1]) SACHS-HOFMEISTER, Handb. der phyfiolog. Botanik. Bd. IV. S. 74. Bd. I. S. 58. — NÄGELI u. SCHWENDENER, Das Mikrofkop. I. Aufl. S. 457. — BECQUEREL u. DUTROCHET, *Compt. rend. II. Sér. T. 9.* S. 80. — JOHANNES RANKE, Unterf. über Pflanzenelektricität. Sitzungsber. der k. Acad. der Wiffenfch. zu München 1872. 6. Juli. — BUFF, Ueber Elektricitätserregung d. lebenden Pflanzen. Ann. d. Chem. u. Pharm. 1854. 13. — JÜRGENSEN, Ueber die in den Zellen der Vallisneria spiralis ftattfindenden Bewegungserfch. HEIDENHAIN, Studien d. phyfiolog. Inftit. Breslau. 14. S. 104. — VELTEN, Ueber die wahre Pflanzenelektricität. 273. 289. Bot. Ztg. 76. — BURDON-SANDERSEN, Ueber elektrifche Vorgänge im Blatte der Dionæa muscipula. 6. Bot. Ztg. 74.

hierbei ein außerordentlich ſchwacher ſein. Bei ſehr ſchwachen Inductionsſchlägen ſchließen ſich die getroffenen Blattpaare faſt inſtantan. Der Reiz pflanzt ſich in ähnlichem Sinne, wie bei der mechaniſchen Berührung, von Blattpaar zu Blattpaar, oft mit Ueberſpringen einiger derſelben, fort. Dauernde Reizung durch ſehr ſchwache Inductionsſchläge bewirkt zunächſt die totale Reizſtellung aller Theile, zuletzt aber wird die Pflanze gegen den Reiz unempfindlich; ſie geht, wenn ſonſt die Bedingungen dafür günſtig ſind, wieder in die Tagſtellung über.

Die höhere Pflanze iſt in den Schließzellen ihrer Spaltöffnungen reizbar. Schaltet man einen abgezogenen Streifen der Epidermis zwiſchen die Elektroden eines der Apparate, Fig. 36 und 40 oben S. 33 und 34, ſchließt den inducirenden Strom, ſo beobachtet man nach kurzer Zeit, daß der Spalt ſich ſchließt, ehe das Plasma der Schließzellen ſich zurückzieht. Länger andauernde Reizung bringt den Plasmakörper der Schließzellen endlich zur Contraction.

Elektriſche Entladungen bewirken bei geringer Intenſität in dem Protoplasmaſyſtem der Vallisneria und anderen vegetativen Zellen die Bildung von zackigen Ausläufern, welche über die Strombahn hervorragen.

Dutrochet und Becquerel verſuchten, ob der Charenſtrom durch die elektriſchen Ströme umgekehrt werde.

Der Verſuch verlief nach den Angaben dieſer Forſcher ſo: der elektriſche Strom, welcher von einem der Elektroden, Fig. 40, von *E'* nach *E* verlief, wurde an einer zwiſchen beiden Elektroden eingeſchalteten Stammzelle der Charen, Fig. 25, durch eine Spirale geleitet, welche parallel dem Plasmaſtrom gewunden war. In dieſer konnte der elektriſche Strom im gleichen und entgegengeſetzten Sinne mit dem Plasmaſtrom gerichtet werden. Die elektriſche Strömung bewirkte die Umdrehung des Plasmaſtromes nicht.

Nach den Angaben Becquerel's iſt die Richtung des elektriſchen Stromes in dieſer Hinſicht ohne Einwirkung (*Cpt. rend. 1837*). Inductionsſchläge bewirken bei längerer Dauer eine Contraction des Wandbeleges (ſ. Fig. 35).

Die Strömung der Carminpartikel, welche bei dem Ueberſpringen des elektriſchen Funkens, ſ. oben S. 34, Fig. 40, beobachtet wurde, tritt nicht ein, wenn man die Flüſſigkeit in eine Glascapillare einſchließt und von beiden Enden derſelben die Elektroden einführt. Eine Theorie der Protoplasmabewegung mit Zugrundelegung der elektriſchen Vorgänge iſt bis jetzt nicht zu ermöglichen.

B. Elektrische Ströme in der Pflanze.

An und für ſich iſt die Pflanze, wenn von den wenigen Senſitiven abgeſehen wird, in allen ihren äußeren Bewegungen ſo träge, alle Bewe-

gungserſcheinungen verlaufen ſo langſam, daß von einer Innervation im Sinne der thieriſchen Nerven wohl kaum die Rede ſein kann.

Die Pflanze beſitzt jedenfalls nicht ſpecifiſche Bahnen für die Leitung im Sinne der thieriſchen Nerven, wennſchon die Bedingungen für die Anhäufung elektriſcher Spannung in den Geweben gegeben ſind in der Athmung, dem ſteten Austauſch von alkaliſchen und ſauren Säften.

Die neuere Bearbeitung dieſes Gegenſtandes führt VELTEN zu dem Auffinden der «wahren Pflanzenelektricität».

VELTEN bedient ſich des MEYERSTEIN'ſchen Elektrogalvanometers (MEISSNER und MEYERSTEIN, Ueber ein neues Galvanometer, POGGEND. Ann. 1861, Bd. 114, S. 132) und der von DU BOIS-REYMOND zuerſt angewandten «unpolariſirbaren Elektroden», bringt mit einer dieſer den Querſchnitt abgeſchnittener Pflanzentheile, mit der anderen die unverletzte Außenfläche derſelben in Berührung und erhält einen elektriſchen Strom, welcher im Schließungsbogen von der Epidermis des unverletzten Theiles nach dem Querſchnitt fließt.

Der Querſchnitt verhielt ſich hiernach negativ gegen den natürlichen Längsſchnitt. Dieſen Strom nennt RANKE, welcher denſelben Gegenſtand zuvor behandelt hat, den falſchen Strom. Der wahre Strom wird erhalten, wenn zuvor die ſchlechtleitende Epidermis entfernt wird. In ſolchen parallelfaſerigen Pflanzenabſchnitten verläuft der wahre Strom umgekehrt, vom Querſchnitt durch die Schließung zum Längsſchnitt. Nach den weiteren Beobachtungen bieten dieſe Ströme keine Beziehung zu den bis jetzt bekannten Lebenserſcheinungen der Pflanzen. Zunächſt zeigt VELTEN, daß der «wahre Pflanzenſtrom» nicht in Beziehung ſteht zu den elektromotoriſchen Wirkungen, wie ſie durch den Ausgleich von ſauren und alkaliſchen Säften entſtehen müſſen. Sodann zeigt er, daß der wahre Strom bei ſolchen Abſchnitten verſtärkt auftritt, welche längere Zeit im Waſſer lagen. Eine Veränderung in der Lage der Zelleninhalte ſtellte ſich gleichfalls als bedeutungslos für die Richtung des wahren Stromes heraus. Zuletzt zeigt er, daß der wahre Strom durch gewaltſame Abtödtung der Pflanzentheile in heißem Waſſer nicht alterirt wird. Es ſcheint ſonach, daß auch dieſe Ströme nicht in cauſalen Zuſammenhang mit bekannten Lebenserſcheinungen zu bringen ſind.



Zehnte Abtheilung:
Rückläufige Zerſetzungen, Erkrankung, Gährung, Fäulniß, Verweſung[1]).

§ 50. Allgemeine Betrachtung.

In keinem Gebiete der Botanik iſt in der neueren Zeit ſo viel mit Erfolg gearbeitet, wie hier in dem Gebiet der, bezogen auf den Aufbau, rückgängigen Bewegungen der organiſchen Maſſen. Der Tod und die Verweſung führen die Körper wieder zurück in das Reich der anorganen. Die Kohlenſtoff-, Waſſerſtoff- und Sauerſtoff-Verbindungen zerfallen endlich in Kohlenſäure und Waſſer, die Eiweißkörper in Ammoniak, Schwefelwaſſerſtoff, phosphorſaure Salze u. a. m.

---

[1]) **Literatur.**

1857. Jahresber. von Liebig, Kopp u. Wöhler. *Compt. rend.* 45. 1021 und 1032. Vertheidigung der Anſicht, daß die Hefe die Spaltung des Zuckers bewirke. Zunahme des Gewichtes der Hefe. — BERTHELOT, Unterſ. über denſ. Gegenſt. *Annal. d. chim. et phys.* 50. 332. — PASTEUR, Milchſäuregährung. *Compt. rend.* 45. Von den Alkoholgährungserregern verſchiedene Organismen. — **1858. Jahresber.** PASTEUR, Gährung des weinſauren Ammoniak. *Compt. rend.* 46. S. 615. — BAIL, Flora. 57. — HOFFMANN, *Icones analyticae fungorum.* H. I. *Mucor racemosus.* — KARSTENS, Botan. Unterſ. 66. H. 3. — PASTEUR, *Compt. rend.* 46 u. 47. Entſtehung der Bernſteinſäure. — BŒDEKER, Annal. d. Chem. u. Pharm. 106. Derſ. Gegenſt. — SCHWARZ, Amylalkohol aus Traubenzucker. DINGLER, Polyt. Journ. Bd. 159. **1859. Jahresbericht von Liebig, Kopp u. Wöhler.** PASTEUR, Gährung mit überſchüſſiger Hefe (mehr Hefe als nöthig zur Zerſetzung des Zuckers). *Compt. rend.* 48. Gehalt der Hefe an Kohlehydraten. *Compt. rend.* Fett aus Zucker gebildet, ebend. — Réſumé über die Zerſetzungsproducte. *Compt. rend.* Bd. 48. S. 1149. Bernſteinſäure, Glycerin, Kohlenſäure, Celluloſe, Fett. Bei der Milchſäuregährung wird Zuckerlöſung mit $NH_4O \cdot PO_8H_3CaCO_3$ ſalzen verſetzt, das Ammoniak verſchwindet, es entſteht milchſaurer CaO. Hiernach erſt beginnt die Entwickelung der Vibrionen, welche nicht an die Gegenwart von Sauerſtoff gebunden ſind; Fäulniß tritt ein. Die Fäulniß tritt nicht ein, wenn die Luft ſauerſtoffhaltig, oder wenn keine Keime von Vibrionen vorhanden ſind. Bei Luftabſchluß werden die Fäulnißproducte nicht verändert. Tritt dagegen continuirlich Luft zu, ſo treten ſucceſſive mit neuen Individuen neue Gährungserſcheinungen auf. Fäulniß der Leichen wird vermieden durch Einſchlagen in alkoholfeuchte Tücher. — PASTEUR's Annahme der Verſchiedenheit des Brandes von der Fäulniß. Der Brand iſt unabhängig von der Einwirkung organiſcher Gährungserreger. *Compt. rend.* 56. Verſuche PASTEUR's zeigen, daß vollkommen reine Luft organiſirte Maſſen nicht oxydirte. Verſuch mit dem ausgekochten geeigneten Subſtrat für Hefe im ausgekochten Zuſtande und mit filtrirter Luft. Verſuche mit Harn und mit Sägeſpänen. — LE MAIRE gegen PASTEUR. *Compt. rend.* 57. — MILLON,

Die Zerſetzungen nach dem Tode ſahen die älteren Chemiker an als an und für ſich ſelbſt begründet in der organiſchen Conſtitution. Man ſtellte ſich eben vor, daß der Körper der Organismen, die Leiche an und für ſich, unter dem Einfluß des Sauerſtoffs der Atmoſphäre in die Proceſſe der Oxydation gezogen wird, welche mit den obengenannten Endproducten abſchließt. Mit der Entwickelung der organiſchen Chemie und mit dem Studium der einfachen Zerſetzungserſcheinungen dieſer Art, ſo namentlich der Gährung, wurden die in Frage ſtehenden Bewegungserſcheinungen begrifflich genauer feſtgeſtellt. Zunächſt dachte man ſich, daß ein organiſirter Körper von beſtimmter Conſtitution im todten Zuſtand in ſich lediglich unter dem Einfluß des Sauerſtoffs zerfallen müſſe. Man glaubte z. B., daß nur die Bewegung, die wir Leben nennen, überhaupt den Zerfall des in Frage ſtehenden Körpers verhindere. Solche Körper beſaßen außerdem die Eigenſchaft, die

---

Nachweis der Ammoniakausſcheidung bei der Gährung durch Hefe. — *Compt. rend.* 57. BÉCHAMP, reſumirt frühere Gährungsbeobachtungen. *Compt. rend.* 57, — C. SCHMIDT, Annalen der Chemie u. Pharmacie, Bd. 126, weiſt nach, daß er ſchon 1847 das Auftreten von Bernſteinſäure beobachtet hat. **1863. Jahresber.** PASTEUR, Der Sauerſtoff der Luft in Moſt. Beſchleunigung der Gährung durch Sauerſtoffzufuhr. Berechnung des Maximums der Sauerſtoffaufnahme im Lager von drei Jahren. *Compt. rend.* 57. — BÉCHAMP, *Compt. rend.* 56, MAUMENÉ und BERTHELOT, *Compt. rend.* 57, Ueber denſelben Gegenſtand. — PASTEUR, *Compt. rend.* 58, mit Abbildungen von Pilzformen. — VERGNETTE-LAMOTTE und PASTEUR, *Compt. rend.* 60, Conſervirung des Weines, Paſtoriſiren des Weines. PASTEUR, Abſätze des Weines. *Compt. rend.* 60. — BÉCHAMP und LADREY, Aehnliches über Weinconſervirung. *Compt. rend.* 61. VOHL, DINGL. Polyt. Journ. — HOFFMANN, Verhalten der Hefe in der Wärme. *Compt. rend.* 63. — J. C. LERMER, Reagentien auf Hefe. DINGL. Polyt. Journ. 181. — HALLIER, Entwickelungsformen des Penicillium cruſtaceum. Arch. f. Pharm. 2. 125. — BÉCHAMP, Wirkung der Kreide bei der Milch-und Butterſäuregährung als Ferment, Microzyma cretae, punktförmiges neues Ferment. *Compt. rend.* 63. — PASTEUR gegen DONNÉ's Angaben über generatio ſpontanea. *Compt. rend.* 63. — SULLIVAN, Entgegnung, Phil. Magaz. 18, glaubt, auch ohne Luftzutritt trete Gährung in der Kuhmilch ein, und glaubt an den Uebergang des Cafein in Milchſäureferment. — LUBOLD, über die Gährung der Kuhmolken (des Milchzuckers daſelbſt). Journ. f. pract. Chemie. 77, — PASTEUR, Salpetrigſäuregährung. In der Zuckermelaſſe, welche reich an Salpeterſäureſalzen, tritt Milchſäure und Alkoholferment auf, bei der Entwickelung letzterer entſteht Waſſerſtoff, welcher aus den Salpeterſäureſalzen Salpetrigſäure bildet. *Bulletin de la soc. chim., séance du 11 Mars 1859.* **1860. Jahresber. von Kopp u. Wöhler**. PASTEUR, Die Verſuche der Luftfiltration; Ueber die Keime der Luft an verſchiedenen Orten. *Compt. rend.* 50. — POUCHET, JOLY u. MUSSET, Ueber denſ. Gegenſt. *Compt. rend.* 50, — PASTEUR, Schimmelvegetation. Bedingung derſelben. *Compt. rend.* 51. — HOFFMANN, Ueber denſ. Gegenſt. Bot. Ztg. M. u. Schd. 1860. — VAN DER BRŒK, Annalen der Chemie u. Pharmacie. 115. **1861. Jahresber. von Kopp u. Wöhler**. H. SCHRÖDER, Luftfiltration. Annalen der Chemie und Pharmacie. 117. 1. Jahresber. 1854. — PASTEUR, Betrachtung der generatio æquivoca, Annalen der Chemie u. Phyſik. 3. 64. Experimente der Filtration und des Luftglühens. Experimente mit dem gewundenen Glasrohr. Temperatur und Keimfähigkeit. Gährung bei Luftabſchluß. Entwickelung von wenig Hefe. Verſchwinden des Zuckers.

Molecularbewegung, welche die Gährung oder Fäulniß veranlaßt, auf andere Körper zu übertragen.

Ein folcher Körper wird zum Ferment, wenn er in minimaler Menge die Bewegung auf eine große Maffe der zu vergährenden, allgemein zu zerfetzenden Körper überträgt. Man wird fich diefe Sache fo vorgeftellt haben: Im Ferment herrfcht ein chemifcher Bewegungszuftand, welcher zu dem endlichen Zerfall desfelben hinführen muß. Wird nun eine felbft kleine Menge (z. B. Hefe, Laab, Effigmutter u. f. f.) derfelben einer großen Menge zu zerfetzender Flüffigkeit, Maifche, Moft, Milch u. f. f., zugeführt,

---

Bulletin de la soc. chim. 1861. Wirkung einer großen Fläche. Einftellung der Gährung. Erklärung der erften ftürmifchen Gährung bei Abfchluß der Luft durch den gelöften Sauerftoff. Gährung in eiweißhaltiger Zuckerlöfung. — LEUCHS, Nicht-Vernichtung der gährungserregenden Kraft durch Hitze und Einwirkung von Alkohol. Journ. d. prakt. Chemie. 84. — JOLY u. MUSSET, Urfprung der Torula cerevifiae. *Compt. rend.* 53. Entwickelung der Sporen im Harn, der nach Biergenuß gelaffen. Entwickelung eines Mycels, welches Mycoderma cerevifiae genannt wird. Hierauf Entftehung des Penicillium glaucum. Gleichheit der Aepfelmofthefe mit Bierhefe. — POUCHET, Ueber denf. Gegenft. *Compt. rend.* 52. — PASTEUR, *Bulletin de la soc. chim. 1861.* Verfuche mit Mycoderma, welche auf einer Flüffigkeit mit Phosphorfäurefalzen und Eiweiß vegetirt; wird diefe dann entfernt und durch 10procentigen Weingeift erfetzt, fo tritt Effigbildung ein. Abhängigkeit der Effigbildung von der Vegetation der Mycoderma. Sauerftoff allein ohne Einfluß. Experiment mit unorganifirten poröfen Körpern. Zur Effigfabrication gehört die Mycoderma auf Zuckerlöfung bei Sauerftoffabfchluß. — PASTEUR, *Compt. rend.* 52. Butterfäuregährung, Ferment, ein Infuforium, deffen Entwickelung unabhängig vom Luftzutritt. Geeignete Medien für dasfelbe find Ammoniak, Zucker, Phosphate in Löfung. Einftrömen von Kohlenfäure ftört die Entwickelung nicht; Einftrömen von Luft tödtet dasfelbe. — PASTEUR, Schleimige Gährung. *Bulletin de la soc. chim. 1861.* 30. Wefen des Fermentes und der Gährung in zucker- und eiweißhaltigen Löfungen. Producte: Mannit, Gummi, Kohlenfäure,

$$25 C_{12}H_{12}O_{12} = 12 C_{12}H_{10}O_{10} + 12 C_{12}H_{14}O_{12} + 12 CO_2 + 12 HO.$$

Jahresber. 1863. PASTEUR, *Compt. rend.* 56. Auffinden eines Fermentes, welches weinfauren Kalk zerfetzt und bei Abfchluß der Luft (des Sauerftoffs) lebt (Vibrionen). Experiment mit ausgekochter Löfung von weinfaurem Kalk. Phosphorfäure mit Alkalien, Afche von Hefe, und Infuforien. Der weinfaure Kalk verfchwindet, die Vibrionen mehren fich. Lufthaltige Löfung gährt, bis aller Sauerftoff durch die Vegetation von Monas und Bacterium verfchwunden ift. Erft dann erfcheinen die Sauerftoff-nicht-bedürftigen Organismen. Zeitfchrift für Chemie u. Pharmacie. 1863. — SCHÖNBEIN gegen PASTEUR, Ozon. Journ. für prakt. Chemie. 89. Bd. — PASTEUR, Fäulniß, Verwefung, Definition der Fäulniß als von fechs Arten Vibrionen eingeleitete Gährungserfcheinung. *Compt. rend.* 56. Entwickelung von Monas crepusculum, Bacterium termo, welche Sauerftoff der Luft abforbiren, hiernach abfterben, da fie in fauerftofffreier, kohlenfäurehaltiger Luft nicht leben. — Dr. ADOLPH MAYER, Lehrbuch der Gährungschemie. 3. Aufl. C. Winter. Heidelberg. 1879. Unterf. über die alkohol. Gährung, den Stoffbedarf und den Stoffwechfel der Hefepflanze. Habilitationsfchrift zur Erlangung der venia docendi an der philofoph. Facultät der Univ. Heidelberg. Mit einem Holzfchnitt und fieben lithographirten Tafeln. C. Winter. Heidelberg 1868. — C. v. NAGELI, Theorie der Gährung. Ein Beitrag zur Molecularphyfiologie. R. Oldenbourg. München 1879.

ſo überträgt die kleine Menge die Bewegung und bewirkt dort den allmäligen Zerfall der Körper Eiweiß, Stärke, Zucker u. ſ. f.

Nachdem man in den in Frage ſtehenden Fermenten z. Th. Organismen, niedere Thiere und Pflanzen, erkannt hatte, nachdem durch SCHWANN, HELMHOLTZ, VON DUSCH, SCHRÖDER[1]) nachgewieſen war, daß die Gährung und Fäulniß von der Gegenwart dieſer Organismen abhängig iſt, gewann die Sache ein anderes Anſehen. Jetzt war das Leben dieſer niederen Organismen, welche in den Leichen (allgemein den organiſchen Abfalls- oder Erndteproducten, Zuckerlöſung mit Spuren von. Eiweiß, Milch u. ſ. f.) das geeignete Subſtrat für ihre vegetativen Proceſſe fanden, die Urſache der in Frage ſtehenden Zerſetzung.

Der belebte Gährungserreger leitet die Zerſetzung ein, weil er einen Theil der Maſſe des Subſtrates zu ſeiner Aſſimilation oder zu ſeiner Athmung braucht.

Die Feſtſtellung der Symptome des Todes mögen, und dieß gilt namentlich für den Pflanzenkörper, noch ſo ſchwierig ſein, ſoviel iſt erwieſen, daß mit dem Tode zunächſt gewiſſe chemiſche Veränderungen eintreten, welche unabhängig ſind von gährungstüchtigen oder krankheitserregenden Organismen.

Die chemiſch differenten Säfte (ſaure und alkaliſche, verdünnte und concentrirte), welche im Leben in beſonderen Zellen diffundirten, vertheilen ſich nach der Abtödtung nach allen Richtungen gleichmäßig. Eine Entmiſchung tritt ein. Bedeutend iſt hier, daß in der nächſten Zeit die Athmung oder richtiger Kohlenſäurebildung geringer wird als im Leben (ſ. oben S. 589).

Dieſe Vorgänge der Entmiſchung brauchen an ſich nicht den endlichen Zerfall in die letzten Zerſetzungsproducte herbeizuführen. Der Tod aber erlaubt erſt den Zutritt der Erreger. Der weitere Zerfall iſt alsdann abſolut abhängig von der Einwirkung der lebenden Gährungs- oder Fäulnißerreger. Gährung und Fäulniß ſind im chemiſchen Sinne unter denſelben Begriff zu ordnen. Der Gährungserreger ſind bis jetzt mehrere genau bekannt, ſo wie auch der chemiſche Vorgang für mehrere dieſer Zerſetzungen genau feſtgeſtellt iſt[2]).

A. Wesen des Zerfalls.

Zunächſt muß hier auf einen fundamentalen Gegenſatz in chemiſcher Hinſicht hingewieſen werden. Wir haben oben bei der Aſſimilation der

---

[1]) Der Nachweis wurde geführt, indem die zu vergährende Flüſſigkeit von den Gährungserregern durch die Membran eines Dialyſators getrennt wurde. Der Zucker dialyſirt zu dem Gährungserreger, wird dort zerſetzt; die Gährung pflanzt ſich aber nicht durch die Membran nach der Gährflüſſigkeit fort.

[2]) Formeln für die Bildung mehrerer Gährungsproducte (nach v. GORUP-BESANEZ' Lehrbuch):

grünen Pflanzen gezeigt, S. 474, daß zu dem Reductionsproceß, welcher in der Pflanze verbrennliche Maſſe häuft, ein kleiner Theil der von außen einſtrömenden Betriebskraft der Sonnenſtrahlen vernichtet wird. Die ſo gewonnene chemiſche Spannkraft wird bei der Verweſung vernichtet, der Gährungs- und Fäulnißerreger bezieht nun zwar einen Theil des von ihm geforderten Sauerſtoffs aus der Luft, z. Th. aber (und wie PASTEUR gezeigt, gilt dieß für eine ganze Gruppe von Organismen) aus dem organiſirten zerfallenden Subſtrat.

Der endliche Zerfall der Thier- und Pflanzenleichen wird durch die organiſchen Zerſetzungserreger beſchleunigt. Dieſelben beſchleunigen alſo den oben angedeuteten Kreisproceß der Kohlenſtoffverbindungen. Es folgt aber auch aus denſelben Betrachtungen, daß die Zerſetzungsproducte bei der Gährung und Fäulniß zuſammen eine kleinere Verbrennungswärme beſitzen müſſen, als die urſprüngliche Maſſe, aus welcher ſie entſtehen.

B. Einfluss der Gährungstheorie auf verwandte Disciplinen.

Nach zwei Richtungen haben die hier einſchlägigen Unterſuchungen fördernd gewirkt. Zunächſt im ökonomiſchen Sinne wurden die Gährungstechnik und die Methoden der Conſervirung von Nahrungsmitteln (Obſt, Fleiſch, Milch) außerordentlich verbeſſert. Zum zweiten wurde die Frage nach der generatio æquivoca in Anregung gebracht.

Dieſe Frage kann etwa ſo ausgeſprochen werden: können, nachdem die chemiſche Conſtitution der Körper, welche den niederen Organismus zuſammenſetzen, bekannt iſt, oder nachdem auch nur die grobe chemiſche Zuſammenſetzung bekannt iſt, Bedingungen hergeſtellt werden, damit niedere Organismen außer Continuität mit bereits lebenden entſtehen; oder iſt es möglich, niedere Organismen außer Continuität mit bereits beſtehenden entſtehen zu ſehen? Die Frage hängt mit den Unterſuchungen über die rückläufige Zerſetzung in dieſem Sinne zuſammen: zur Löſung derſelben muß ein Gemiſch angewandt werden, welches die Nährkörper des entſtehenden niederen Organismus enthält. Wenn nun irgend ein Subſtrat geeignet iſt, ſo iſt es gerade die organiſche Löſung, ſo in erſter Linie die Gährflüſſigkeit, Moſt, Maiſche (Löſung von Zucker, etwas Eiweiß und Salze).

Alkohol: 1 Mol. Traubenzucker = $C_6H_{12}O_6$ zerfällt in { 2 Mol. Alkohol $C_4H_{12}O_2$; 2 « Kohlenſäure C_2O_4 }

(Eſſigſäure: Alkohol C_2H_6O + O oxydirt zu Aldehyd $C_2H_4O + H_2O$; Aldehyd C_2H_4O + O « « Eſſigſäure C_2H_4O).

Milchſäure: 1 Mol. Traubenzucker = $C_6H_{12}O_6$ zerfällt in { 1 Mol. Milchſäure $C_3H_6O_3$; 1 « Milchſäure $C_3H_6O_3$. }

Butterſäure: 2 Mol. Milchſäure = $C_6H_{12}O_6$ zerfallen in { 1 Mol. Butterſäure C_2O_4; 2 « Kohlenſäure $C_4H_8O_2$; 2 « Waſſerſtoff H_4. }

PASTEUR[1]) behandelt diefe Frage für den Erreger der Alkoholgährung, die Hefe: in zwei Kölbchen wird die gleiche Gährflüffigkeit gegeben (Zuckerlöfung mit etwas Ammon und Phosphorfäurefalz), beide werden längere Zeit ausgekocht, an dem einen Kölbchen ift ein längeres Rohr angefchmolzen, welches nach oder während des Auskochens mit reiner Schießbaumwolle gefüllt wird.

Das andere Kölbchen bleibt offen. Mit dem Erkalten der beiden Gefäße tritt die atmofphärifche Luft ein.

Der Erfolg ift diefer: in dem Kölbchen, welches die Luft durch den Baumwollpflock filtrirt erhält, unterbleibt die Gährung, in dem andern, welches nicht filtrirte Luft erhält, tritt diefelbe unter den bekannten Symptomen der Alkohol- und Kohlenfäurebildung ein. Der Verfuch kann auch in der Weife angeftellt werden, daß eine angefchmolzene, fehr lange dünne Röhre während der Abkühlung der Gährflüffigkeit zum Glühen erhitzt wird.

---

[1]) Die ältere Annahme der Chemiker über das Wefen der Gährung ging dahin, daß in gährenden Körpern ein Ferment durch die Uebertragung eines in ihm fich vollziehenden Zerfalles den Proceß unterhalte. Die Anfchauung war felbft dahin getheilt, daß ein folcher Körper durch feine bloße Berührung mit dem zu vergährenden (katalytifch) die Gährung einleite; so z. B. bei der Butterfäuregährung. Als folche Fermente wurden die Eiweißkörper angefehen. PASTEUR zeigt durch den Verfuch, daß, um die Gährung von butterfaurem Kalk einzuleiten, die Eiweißkörper überflüffig feien, indem er fie durch Ammonfalze erfetzt. Er zeigt, daß die Infuforien, welche in lufthaltigem Waffer leben, nicht als Fermente gährungserregend wirken, daß aber, fobald aller Sauerftoff entfernt ift, andere Gährungserreger auftreten, welche nur in sauerftofffreier Flüffigkeit zu leben vermögen, und diefe follen die eigentlichen Erreger der Gährung fein. Er fand unter folchen Bedingungen, daß der weinfaure Kalk vollftändig zerfetzt wurde, während feine Kohlenfäureinfuforien fich mehrten. PASTEUR theilt die belebten Gährungserreger dementfprechend ein in Luft-bedürftige und Luft-nicht-bedürftige (Aërobier und Anaërobier).

Nach PASTEUR fchon find die Fäulniß- (Verwefungs-)erfcheinungen neben die Vorgänge der Gährung zu ordnen, infofern fie ebenfalls in caufalem Zufammenhang mit lebenden Gährungserregern ftehen (Vibrionen EHRENBERG's) (Bacterien). Zwei Fälle folcher Gährung (Fäulniß) find möglich:

a) Die Luft ift abgefchloffen; in diefem Falle vermehren fich die Spaltpilze (Bacterien), bis aller in der Gährflüffigkeit vorhandene Sauerftoff verbraucht ift. Sobald dieß erreicht ift, mehren fich die Vibrionen, die Bacterien zerfallen, und der milchfaure Kalk wird in butterfauren Kalk, der Zucker wird in Alkohol und Kohlenfäure zerlegt. Die weitere Zerlegung des Alkohols in Kohlenfäure und Waffer aber ift von der Anwefenheit der Bacterien abhängig.

b) Die Luft hat zu den vergährenden (verwefenden) Körpern Zutritt. Jetzt bilden fich die fauerftoffbedürftigen Gährungserreger an der Oberfläche des Körpers. Es entfteht eine Haut von Bacterien, welche zu Boden finkt, eine neue Haut bildet fich u. f. f., bis ein vollftändiger Abfchluß gegen die Luft hergeftellt ift. Durch diefen Abfchluß aber wird der Körper für die Vibrionen geeignet, welche bei Gegenwart von Sauerftoff nicht zu leben vermögen. Diefe zerlegen jetzt den milchfauren Kalk in Butterfäure, den Zucker in Alkohol. Die fchützende Decke der luftbedürftigen zerlegt jetzt aber diefe Zer-

Im ersten Versuch werden die Keime der Gährungserreger in dem Filter zurückgehalten, in dem zweiten werden sie zerstört. Wird die glühende Glasröhre endlich zugeschmolzen, so unterbleibt die Gährung. Da die Sauerstoffentziehung an und für sich dieselbe verhindert, so mußte im PASTEUR'schen Versuch, wenn er Beweiskraft haben sollte, dafür gesorgt werden, daß sauerstoffhaltige Luft Zutritt erhielt.

Dieser Bedingung ist in beiden Versuchsweisen PASTEUR's genügt. Auf diese Weise ist wenigstens für die Hefe der Nachweis geliefert, daß der Gährungserreger nicht in der Gährflüssigkeit entsteht, daß die Keime aus der Atmosphäre dem Substrat zugeführt werden.

C. Einfluss der Gährungstheorie auf die Krankheitsgeschichte.

Auch die Vorstellung über das Wesen der Pflanzenkrankheiten wurde durch die Gährungstheorie beeinflußt: Es gab eine Zeit vor den ganz durch-

---

setzungsproducte vollständig in Kohlensäure und Wasser. Der Fäulnißproceß erreicht sein Ende mit der vollständigen Zerstörung der organischen Substanz. Es sterben nun allmälig die Vibrionen und zuletzt die Monaden und Bacterien in der schützenden Haut. Damit ist alle organische Substanz in Kohlensäure, Ammoniak und Wasser zurückgeführt. Den Zerfall der Thierleiche erklärt PASTEUR unter demselben Gesichtspunkt, indem er annimmt, daß die fäulnißerregenden Organismen im Innern der Verdauungswerkzeuge, umgeben von sauerstofffreier Flüssigkeit, schon zur Zeit des Lebens existiren. Zu solchen Erregern rechnet PASTEUR:

1) Monas crepusculum. Bacterium termo.

2) Vibrio lineola, tremulans, subtilis, rugula, prolifer, bacillus.

Die Erklärung des Gährungsprocesses, zunächst der Alkoholgährung, bei welcher der Alkohol in Zucker und Kohlensäure zerfällt, erhielt eine Erweiterung durch die Forschungen PASTEUR's (1859—61). Im Wesen der Sache stunden sich GAY-LUSSAC und THÉNARD einer- und BERTHELOT und PASTEUR andererseits gegenüber, den Ersteren ist es nicht gelungen, den causalen Zusammenhang zwischen der Gährung und dem Leben niederster Pflanzen und Thiere zu erkennen. BERTHELOT und PASTEUR zeigten zuerst das constante Auftreten von Glycerin und Bernsteinsäure bei der Alkoholgährung und erwiesen die Zersetzung durchaus abhängig von der Gegenwart der Hefe und der Vibrionen.

PASTEUR glaubte annehmen zu müssen, daß die Umwandlung des Zuckers $C_6H_{12}O_6$ in sein linksdrehendes Homologon durch das Auftreten der Bernsteinsäure veranlaßt werde. BERTHELOT beobachtete indeß diese Umwandlung auch in alkalischer Lösung und schreibt die Wirkung einem Körper zu, welcher ein dem Emulsin ähnliches Verhalten zeigt.

Die Generatio æquivoca erscheint deßwegen unerwiesen, weil die Keime der Mucedineen ihre Keimfähigkeit noch behalten, selbst nachdem sie auf 120 bis 130° C. erhitzt wurden.

Die Mycodermen verhalten sich verschieden. Beide übertragen zwar den Sauerstoff der Luft auf die gährende Flüssigkeit, wird aber Mycoderma vini auf alkoholische Flüssigkeit übertragen, so bildet sich Kohlensäure und Wasser, während Mycoderma aceti den Alkohol in Essigsäure umsetzt. Bei dem ersteren Proceß ist die Thätigkeit des Gährungserregers eine gesteigerte. Luftabschluß verhindert aber in beiden Versuchen die Zersetzung (PASTEUR).

Die Holzspäne, welche bei der Schnellessigfabrikation zur Anwendung kommen, sind nur die Träger der Mycodermenkeime.

ſchlagenden Ergebniſſen der Arbeiten de Bary's, Tulasne's, alſo kaum 20 Jahre, wo man die Pilze als ſtete Begleiter der krankhaften Symptome der Pflanzen wohl ſchon kannte. Das Weſen der Erkrankung ſuchte man gleichwohl nicht in dem ſtörenden Einfluß der Paraſiten, ſondern man dachte ſich eine urſprüngliche Krankheitsurſache. Der Paraſit trat gewiſſermaßen als Begleiter der Krankheitserſcheinungen auf. Nun iſt im phyſiologiſch-chemiſchen Sinne zwar das Weſen der Pilzkrankheiten nicht, oder nur in wenigen Fällen, erſchloſſen. Soviel aber iſt nachgewieſen, daß die Krankheitsſymptome, die man an pilzkranken Pflanzen und Thieren beobachtete, durchaus abhängig ſind von den Paraſiten. Der experimentelle Beweis wurde durch eine Reihe von Impfungen und Keimungsgeſchichten geliefert für die Uredineen, Uſtilagineen, Saprolegnien, Chytridiaceen, in neuerer Zeit für die höchſten Pilzformen, die Agaricineen, ſowie für die niederſten, Schizomyceten, Bacterien[1]).

D. Einfluss der Gährungstheorie auf die Medicin.

Auch in der Heilkunde hat ſich bezüglich der pathologiſchen Proceſſe gewiſſer contagiöſer Krankheiten ein Umſchwung in der Anſchauung vollzogen mit dem Nachweis, daß contagiöſe Krankheiten in cauſalem Zuſammenhang mit niederen Pflanzenparaſiten ſtehen.

Alkoholgährung.

Am genaueſten ſtudirt iſt die in der menſchlichen Oekonomie bedeutungsvolle Alkoholgährung. Nach der oben, S. 630, dargelegten Formel wird hier unter dem Einfluß der Hefe Alkohol und Kohlenſäure gebildet.

---

[1]) Genaueres ſiehe unten in der Syſtematik der niederen Cryptogamen. — In dem kürzlich erſchienenen Lehrbuch: Anatomie u. Phyſiologie der Holzpflanzen von Th. Hartig (Berlin, J. Springer 1878) iſt heute noch die Anſchauung verfochten, daß die niederen holzzerſtörenden Paraſiten in dem Holze neu entſtehen. Th. Hartig ſagt über die nach ſeiner Anſicht nachweisbare directe Entſtehung lebender Zellen aus Zelltrümmern höher organiſirter Weſen wörtlich Folgendes: «Dagegen läßt ſich die Entſtehung lebender Weſen niederer Bildung aus organiſirten Zerſetzungsproducten abgeſtorbener Thiere oder Pflanzen nachweiſen. Schon in einer Schrift aus dem Jahre 1833 habe ich gezeigt, daß die Zellwände und Mehlkörper abgeſtorbener Bäume oder abgeſtorbener Theile lebender Bäume, unter entſprechendem Einfluß von Wärme, Feuchtigkeit und Luft, zunächſt in ihre molecularen Theile zerfallen (Verjauchung); daß dieſe molecularen Theile, trotz ihrer geringen, 0,001 mm nicht überſteigenden Größe, durch das Uebereinſtimmende in Größe und Kugelform immer noch als organiſirte Körper zu betrachten, daß ſie befähigt ſeien, unmittelbar in die niedrigſten Formen der Pilzbildung ſich umzubilden und zu beleben, ohne die Mitwirkung vorgebildeter, lebender Keime, womit ſelbſtverſtändlich die Entwickelung und Fortpflanzung von Keimen nicht ausgeſchloſſen iſt, wenn ſolche in der ſich zerſetzenden Subſtanz vorhanden waren, oder von außen derſelben zugeführt wurden.» In einer der folgenden Zeilen wird dieſe Entſtehungsart niederſter Pilzformen «generatio metamorphica» genannt.

Zu den Bedingungen der Hefevegetation gehören in erſter Linie die Gegenwart genügender Mengen von Ammoniak, Salpeterſäureſalzen oder Albuminaten neben dem in Löſung befindlichen Zucker. Nach Angaben Pasteur's ſoll die Vergährung des Zuckers unterbleiben (oder doch bedeutend herabgemindert werden), wenn die vegetirende Hefe freien Sauerſtoff in Löſung oder aus der Luft vorfindet. Dieſelbe Hefemenge, welche in tiefen Gährgefäßen mit geringer Oberfläche eine beträchtliche Menge Zucker zerſetzt, dabei aber ſelbſt eine geringe Maſſenzunahme erfährt, zerſetzt in flachen Gährgefäßen mit großer Luftoberfläche eine geringe Zuckermenge, iſt aber jetzt in der Lage, ſich ſelbſt durch vegetative Theilung ſtark zu vermehren.

E. Ernährung der Hefepflanze.

Wir ſtellen noch einmal kurz die gewonnenen Reſultate zuſammen:

Die eiweißartigen Stoffe und alle anderen ſtickſtoffhaltigen organiſchen Stoffe, mit denen hier Verſuche angeſtellt worden ſind, ſind ſchlechte Nahrungsmittel der Hefepflanze und vielleicht nur in dem Maßſtab, als ſie Ammoniak durch Zerſetzung abzugeben vermögen. Dennoch verhält ſich die Hefepflanze in ihrer Stickſtoff-Aufnahme nicht analog den höheren Pflanzen; denn obwohl auf Koſten von Ammoniakſalzen eine normale, wenn auch nicht möglichſt kräftige Ernährung ſtattfindet, ſo iſt dieſelbe doch abſolut unfähig, ſich auf Koſten von Salpeterſäure, der Hauptbezugsquelle von Stickſtoff für die höheren Pflanzen, zu ernähren.

Es ſcheint jedoch eine Gruppe von ſtickſtoffhaltigen, organiſchen Körpern zu geben, die ein äußerſt kräftiges Nahrungsmittel der Hefepflanze ſind. Es ſcheinen dieß dieſelben Körper zu ſein, denen man früher jene geheimnißvollen Fermentwirkungen zuſchrieb und zum Theil noch heute zuſchreibt. Für Pepſin, das ein Hauptvertreter jener Gruppe iſt, konnte eine große Nährfähigkeit in Bezug auf die Hefepflanze nachgewieſen werden. Ein hierhin gehöriger Körper iſt auch in der friſchen Hefe nachgewieſen, und derſelbe iſt möglicherweiſe mit der Diaſtaſe identiſch[1]).

Bei der Gährung findet zugleich ein Stickſtoffumſatz ſtatt, welcher dadurch bewieſen werden kann, daß die ſtickſtoffhaltigen Extractivſtoffe der erſchöpften Hefe unfähig ſind, die Hefepflanze zu ernähren. Dieſer Umſatz iſt Urſache der Erſchöpfung der Hefe.

Die Verſuche Pasteur's führten zu der Annahme, daß der Gährungserreger überhaupt nur die in Frage ſtehende Zerſetzung einleiten könne, wenn er gezwungen iſt, den Sauerſtoff aus dem zu zerſetzenden Zucker zu nehmen.

Nägeli tritt dieſer Theorie an der Hand zahlreicher Verſuche in neuerer Zeit entgegen.

[1]) A. Mayer, in der S. 628 cit. Abh.

Er zeigt, daß die Gährthätigkeit in der flachen Schale größer ist wie in dem tiefen Gefäß mit geringer Luftoberfläche, und definirt zunächst die Gährung als eine Uebertragung von Bewegungszuständen der Molecule, Moleculgruppen und Atome verschiedener, das lebende Plasma zusammensetzender Verbindungen (welche bei der Uebertragung selbst chemisch unverändert bleiben) auf das Gährmaterial, wodurch das Gleichgewicht in dessen Moleculen gestört und dieselben zum Zerfallen gebracht werden (a. a. O., S. 29).

Von physiologischem Interesse ist die Frage: wie ist die Zersetzung in der Hefezelle oder in ihrer Nähe zu denken? Es giebt Beobachtungen, und auf diese stützt sich NÄGELI, wo die Gährung durch Pflanzenmembranen hindurch erfolgt, so bei Früchten, welche auf ihrer Haut von Hefezellen besiedelt sind. Dieselben gähren, wenn sie mit der Schale in Wasser oder Most liegen.

Schneidet man vom Zuckerrohr etwa fußlange Stücke ab, inficirt diese an einer Schnittfläche mit Hefe, so verbreitet sich die Gährung von dem Querschnitt aus weit über das ganze Stück, und der Alkohol diffundirt bald bis zur anderen Schnittfläche. NÄGELI geht einmal von der Anschauung aus, daß das Plasma der Pflanzenzelle außer der Membran chemische Zersetzungen nicht bewirken könne. Damit stehen aber die Resorptionen, welche von den Keimschläuchen der Pilze, Uredineen, Ustilagineen durch geschlossene Membranen getrieben werden (Fig. 390, 391), im Widerspruch. Bei den Zersetzungen, welche hier auf die Cellulose des Wirthes übertragen werden, kommen jedenfalls chemische Umwandlungen in Betracht, welche mindestens ebenso tief eingreifend sind, wie die Zersetzung des Zuckers bei der Gährung durch die Hefe.

Gegen die Annahme, daß der Zucker in die Hefezelle diosmire, daß Alkohol und die Kohlensäure aus der Zelle in dem Maß der Zersetzung austrete, argumentirt NÄGELI mit einer Berechnung der Alkoholbildung für gegebene Zeit bei günstigster Secretion, bezogen auf eine einzige Hefezelle.

Nach den Angaben PASTEUR's vergährt 1 g Hefe in 20 Tagen 50 g Traubenzucker, in einer Stunde also im Durchschnitt 0,1 g. Nach NÄGELI's Angaben vergährt die Hefe in 1 Stunde 1,67 ihres eigenen Trockengewichtes Zucker, wobei 0,85 ihres Gewichtes Alkohol gebildet wird.

Während einer Stunde ergiebt die Rechnung für 1 qcm 0,000047 g Zucker, welcher eindringen, 0,000024 g Alkohol, welcher aus der Zelle ausgeschieden werden muß.

Die vergleichenden Versuche über die Diffusionsgeschwindigkeiten von Zucker und Alkohol durch künstliche Membranen führen nicht zur Entscheidung der Frage, ob die Gährung in der Hefezelle oder außerhalb derselben unterhalten werde.

Den Nachweis, daß die Hefezelle mit ihrem Plasmakörper gährungserregend auf $^{1}/_{50}$ mm über die Peripherie ihrer Membran hinaus wirke, fucht Nägeli zu ftützen, nachdem er darauf aufmerkfam gemacht hat, daß die Thierzelle in ihrer Außenfläche mit einer Plasmafchicht functionire, während die Pflanzenzelle ihre Plasmathätigkeit durch eine Cellulofewand hindurch zu vollziehen habe, durch die analoge Wirkung der gährungserregenden Pilzzellen, welche aus ihrer Membran reducirende, den Lackmus entfärbende Subftanzen ausfcheiden, und durch die oben angegebene Thatfache, daß die Hefezelle durch die Fruchtfchale oder durch zahlreiche Membranen in dem Zuckerrohr gährungserregend wirkt.

Bezüglich des Sauerftoffbedarfs der Hefe bei der Gährung kommt Nägeli zu diefen Erfahrungen:

1⁰ «Der freie Sauerftoff kann bei vorhandener hinreichender Gährthätigkeit entbehrt werden.»

Niedere Pilze, die Hefe z. B., können überhaupt nur ohne Sauerftoff leben, wenn fie im Stande find, in dem Subftrat Gährung zu erregen. Schimmel und gewiffe Sproßpilze vermögen überhaupt nicht Gährung zu erregen, fie können daher auch ohne Sauerftoff nicht leben, mögen die Ernährungsbedingungen in dem Subftrat fonft noch fo günftige fein.

Die Saccharomyces und Mucorineen erregen durchaus nur eine Art der Gährung, nämlich die Alkoholgährung, fie leben ohne Sauerftoff bei Gegenwart des Zuckers und der ftickftoffhaltigen Nährkörper (Peptone). Es konnte bisher nicht feftgeftellt werden, ob es unter den Schizomyceten (Spaltpilzen) nicht etwa auch folche gäbe, welche ohne freien Sauerftoff nicht leben können, während fie auch nicht gährungserregend find. Die Verbrennungswärme, welche bei der Gährung gefchaffen wird, liefert die Kraft für die Molecularbewegung im Körper des lebenden Gährungserregers.

Diefe Quelle der Kraft wird fonft bei höheren Wefen durch die Athmung in fauerftoffhaltiger Luft unterhalten. Der Gährungserreger der Hefezelle lebt ohne Sauerftoff, zerfetzt dafür den Zucker, um dabei Sauerftoff für den Oxydationsproceß zu gewinnen. Es befteht fomit eine Wechfelwirkung; die Hefe zerlegt den Zucker, um lebendige Kraft der Molecularbewegung für ihre Plasmatheile zu gewinnen, diefe Bewegung wird aber dazu angewandt, um weitere Zuckermengen in die Zerfetzung hereinzuziehen.

2⁰ «Die Oxydation durch freien Sauerftoff begünftigt aber ihrerfeits die Gährung.»

Mit diefem Satz ftellt fich Nägeli in fchroffen Gegenfatz zu den früheren Forfchern (f. oben Pasteur, S. 634). Der reiche Sauerftoffgenuß fteigert die Lebensthätigkeit und das vegetative Wachsthum der Hefe, dadurch aber wird diefe um fo gährtüchtiger.

3⁰ «Die Gährtüchtigkeit der Hefezelle befördert unter allen Umſtänden ihr eigenes Wachsthum.»

Bei der Beobachtung der Hefe allein in Zuckerlöſung wird es immer noch ſchwer ſein, zu entſcheiden, welches die Urſache, welches die Wirkung iſt. Die ſtarke Vegetation der Hefe kann eben ſo wohl die Urſache erhöhter Gährtüchtigkeit, wie dieſe die Urſache des ſtärkeren Wachsthums ſein.

Im Allgemeinen ernähren ſich nicht gährungstüchtige Pilze auf Glycerin und Peptonen eben ſo gut, wie auf Zucker. Auch die Hefe wächſt in ſolchen Subſtraten bei Zufuhr von Sauerſtoff, wiewohl ſie nicht in der Lage iſt, dort Gährung zu erregen. Zuſatz von Zucker, alſo die Möglichkeit der Gährungserregung aber vermehrt auch ihre vegetative Thätigkeit.

4⁰ «Die Gährthätigkeit eines gegebenen Pilzes benachtheiligt die Ernährung und das Wachsthum der übrigen Pilze, welche nicht für dieſelbe Gährung organiſirt ſind.»

Hier wurde das Verhalten der Hefe im Kampf mit den Spaltpilzen in's Auge gefaßt. Der gewöhnliche Verlauf der Ausſchließung zweier Pflanzen iſt dieſer: wenn eine Art in allzu großer Anzahl da iſt, die andere in allzu geringer, ſo wird in der Regel die erſtere vermindert, die letztere vermehrt. Gerade umgekehrt liegt es zwiſchen der Hefe und den Bacterien auf demſelben zu vergährenden Subſtrat; iſt die Hefe von Anfang an in Ueberſchuß neben den Bacterien und erfolgt eine ſtarke Gährung, ſo unterliegen die Spaltpilze. Nägeli erklärt dieſen Vorgang von der Hypotheſe der molecularen Bewegung aus, welche oben dargelegt wurde, nachdem er gezeigt, daß die ſubſtantielle Veränderung des Subſtrates durch den Gährungserreger nicht die Urſache für die Ausſchließung des Spaltpilzes ſein kann. Er denkt ſich, durch den Einfluß des Protoplasmas der Hefezelle werde bis zu einem beſtimmten Rayon um dieſelbe in den Zuckermoleculen der Nährlöſung eine moleculare Schwingung erregt, welche endlich zu dem Gährungszerfall führt.

Sind die Zuckermolecule in dieſe Schwingung für die Hefe einmal hereingezogen, ſo ſind ſie nicht mehr empfänglich für andere Schwingungsbewegungen, welche von dem Spaltpilz ausgehen; der letztere verliert dadurch aber ſeine Nahrung oder die Fähigkeit, lebendige Kraft aus dem Gährungsſubſtrat zu ziehen, und damit ſeine Exiſtenzbedingung.

---

§ 51. Pflanzenkrankheiten.

A. Orientirung.

Es iſt nicht die Aufgabe der nachfolgenden Abhandlung, alle pathologiſchen Zuſtände der Pflanzen, welche z. B. durch Ernährungs- und Be-

leuchtungsbedingungen veranlaßt ſind, zu ſchildern, dieß iſt in den früheren Abſchnitten, ſoweit thunlich, geſchehen.

Im Anſchluß an die Betrachtungen über den Zerfall, welche im Vorſtehenden angeſtellt wurden, mögen die weſentlichen Geſichtspunkte der contagiöſen Krankheiten herausgegriffen werden[1]).

---

[1]) **Bacterien.**

HERMANN HOFFMANN, Ueber Bacterien. 233. Bot. Ztg. 69. — FERD. COHN, Zur Bacterienfrage. 861. Bot. Ztg. 71. — JOH. LÜDERS, Ueber Abſtammung und Entwickelung des Bacterium Termo, Vibrio lineola. Ehrb. 33. 41. — Dr. FERD. COHN, Unterſ. über Bacterien. COHN, Beitr. Heft 3. S. 141. Breslau 1875. J. U. Kern's Verlag. — Dr. FERD. COHN, Unterſ. über Bacterien. COHN, Beitr. Heft 2. S. 127. Breslau 1872. J. U. Kern's Verlag. — Dr. J. SCHRŒTER, Ueber einige durch Bacterien gebildete Pigmente. COHN, Beitr. Heft 2. S. 109. Breslau 1872. J. U. Kern's Verlag. — Dr. ED. EIDAM, Unterſ. über Bacterien. III. Beiträge zur Biologie der Bacterien: 1. Die Einwirkung verſchiedener Temperaturen und des Eintrocknens auf die Entwickelung von Bacterium Termo Duj. COHN, Beitr. Heft 3. S. 208. Breslau 1875. J. U. Kern's Verlag. — Dr. KOCH, Kreisphyſikus in Wöllſtein, Unterſ. über Bacterien. V. Die Aetiologie der Milzbrandkrankheit begründet auf die Entwickelungsgeſchichte des Bacillus Anthracis. COHN, Beitr. Bd. 2. Heft 2. S. 277. Breslau 1876. J. U. Kern's Verlag. — Dr. FERD. COHN, Unterſ. über Bacterien. IV. Beiträge zur Biologie der Bacillen. COHN, Beitr. Band 2. Heft 2. S. 249. Breslau 1876. J. U. Kern's Verlag. — C. J. SALOMONSEN, Zur Iſolation differenter Bacterienformen. 609. Bot. Ztg. 76.

Chytridieen.

A. BRAUN, Ueber das Chytridium, eine Gattung einzelliger Schmarotzergewächſe auf Algen und Infuſorien. 1856. Berlin. Dümmler. — Dr. J. SCHRŒTER, Die Pflanzenparaſiten aus der Gattung Synchytrium. COHN, Beitr. Heft I. S. 1. Breslau 1870. J. U. Kern's Verlag. — Dr. LEON NOWAKOWSKI, Beiträge zur Kenntniß der Chytridiaceen. II. Polyphagus Euglena, eine Chytridiacee mit geſchlechtlicher Fortpflanzung. COHN, Beitr. Bd. 2. Heft 2. S. 201. Breslau 1876. J. U. Kern's Verlag. — Dr. LEON NOWAKOWSKI, Beitrag zur Kenntniß der Chytridiaceen. COHN, Beitr. Bd. 2. Heft I. S. 73. Breslau 1876. J. U. Kern's Verlag. — M. WORONIN, Neuer Beitr. zur Kenntniß der Chytridieen. Entwickelungsgeſchichte des Synchytrium mercurialis. 81. 97. Bot. Ztg.

Saprolegnien.

A. DE BARY, Beitrag zur Kenntniß der Achlya prolifera. 473. 89. 505. Bot. Ztg. 52. — N. PRINGSHEIM, Weitere Nachträge zur Morphologie und Syſtematik der Saprolegnien. Abhandl. d. k. Acad. d. Wiſſenſch. zu Berlin. 1859. — A. DE BARY, Einige neue Saprolegnien. S. 169. PRINGSH. Jahrb. Bd. II. 1860. — H. LEITGEB, Neue Saprolegnien. S. 357. PRINGSH. Jahrb. Bd. V. 1866—67. — Dr. OSCAR BREFELD, Entwickelungsgeſchichte der Empuſa muscae und Empuſa radicans. 161. 177. Bot. Ztg. 70. — Dr. JACOB WALZ, Beiträge zur Kenntniß der Saprolegnien. 537. 553. Bot. Ztg. 70.

Uredineen.

MAX REESS, Chryſomyxa Abietis Unger und die von ihr verurſachte Fichtennadelkrankheit. 385. 93. Bot. Ztg. 65. — Prof. A. S. ÖRSTED, Ueber Rœſtelia lacerata nebſt Bemerkungen über die anderen Arten der Gattung Rœſtelia. 222. Bot. Ztg. 67. —

Als oberſten Satz erhalten wir: der paraſitär lebende Pilz iſt die Urſache des Zerfalles oder der Erkrankung der höheren Pflanze. Die pathologiſchen Symptome ſind im Allgemeinen nicht ſo genau im chemiſchen Sinne aufgeklärt wie die Gährung.

Wir halten in erſter Linie feſt, daß es der Forſchung bis jetzt nicht gelungen iſt, den Nachweis zu liefern, daß die in Frage kommenden Krankheitserreger in dem Wirth, der Nährpflanze oder dem Thiere, durch Urzeugung oder Zerfall des Plasmakörpers des Wirthes entſtehen, und gehen von vornherein von der Vorſtellung aus: wenn ein niederer Paraſit in das Innere einer Zelle des Wirthes dringt, ſo ſind an ſich ſchon die Bedingungen der Erkrankung des Wirthes gegeben.

Wir können ſomit ſagen: der gegebene Pilz, welcher ſo verfährt, iſt

---

Dr. Max Reess, Die Roſtpilzformen der deutſchen Coniferen. Halle. H. W. Schmidt. 1869. — M. Woronin, Unterſ. über die Entwickelung des Roſtpilzes (Puccinia Helianthi), welcher die Krankheit der Sonnenblume verurſacht. 677. 693. S. Famintzin. Bot. Ztg. 75. — Dr. J. Schrœter, Entwickelungsgeſchichte einiger Roſtpilze. Cohn, Beitr. Heft 3. S. 1. Breslau 1875. J. U. Kern's Verlag.

Ustilagineen.

A. Fischer v. Waldheim, Beiträge zur Biologie und Entwickelungsgeſchichte der Uſtilagineen. S. 61. Pringsh. Jahrb. Bd. V. 1866—67. — J. Kühn, Tilletia Secalis, eine Kornbrandform des Roggens. 470. Bot. Ztg. 76.

Pyrenomycetes.

H. v. Mohl, Die Traubenkrankheit. 9. 31. Bot. Ztg. 52. — A. de Bary, Zur Kenntniß inſectentödtender Pilze. 1. 9. 17. Bemerkungen über Arthrobotrys oligoſpora. 75. Ueber den Krebs und die Hexenbeſen der Weißtanne. 257. Bot. Ztg. 67. — A. de Bary, Zur Kenntniß inſectentödtender Pilze. Bot. Ztg. 1867. Nr. 2. — Dr. Bail, Ueber Pilzepizootien der forſtverheerenden Raupen. Danzig. Th. Anhuth. 1869. — Dr. R. Wolf, Keimung der Ascoſporen von Eryſiphe graminis Lév. Notiz, neuen Brandpilz betr. 814. Bot. Ztg. 74.

Allgemeines.

Willkomm, Mikroſkopiſche Feinde des Waldes. Dresden 1867. Schönfeld. — Dr. Th. Hartig, Nachträge zur Abhandlung «Pilzbildung im keimfreien Raume». 190. Ueber das Faulen von Eiern in unverletzter Eiſchale. 193. Bot. Ztg. 69. — R. Hartig, Die Zerſetzungserſcheinungen des Holzes der Nadelholzbäume und der Eiche in forſtlicher, botaniſcher und chemiſcher Richtung. Berlin 1878. J. Springer. — R. Hartig, Pilzkrankheiten der Bäume. Berlin 1874. J. Springer. — A. de Bary, Anmerkung zu Th. Hartig's Nachträgen zur Abhandlung «Pilzbildung im keimfreien Raume». 193. Zur Kenntniß inſectentödtender Pilze. 585. 601. Bot. Ztg. 69. — Dr. Ferd. Cohn, Ueber eine neue Pilzkrankheit der Erdraupen. Cohn, Beitr. Heft 1. S. 58. Breslau 1870. J. U. Kern. — Julius Kühn, Der Mehlthau der Runkelrübe. 499. Die Anwendung des Kupfervitrioles als Schutzmittel gegen den Steinbrand des Weizens. 502. Bot. Ztg. 73. — Dr. J. Schrœter, Prüfung einiger Desinfectionsmittel durch Beobachtung ihrer Einwirkung auf niedere Organismen. Cohn, Beitr. Heft 3. S. 30. Breslau 1875. J. U. Kern's Verlag.

ein ſpecifiſcher Krankheitserreger, ſpecifiſch bezogen auf jede andere Krankheit, aber auch bezogen auf die Krankheit, welche ein gegebener Pilz anderer Art unter denſelben oder ähnlichen Umſtänden erzeugt.

B. Bedingungen des Pilzlebens.

Allgemeine Bedingungen des Pilzlebens ſind dieſe: warme, feuchte Luft, das geeignete Subſtrat, welches reich an organiſchen Zerſetzungsproducten iſt, Thier- und Pflanzenleichen, und für die paraſitären, welche nur in lebenden Pflanzen und Thieren zu leben vermögen, der Wirth in der geeigneten Phaſe ſeines ganzen Körpers oder derjenigen Organe, welche der Paraſit zunächſt anzugreifen gewohnt iſt.

Gehen wir von dem Infectionsherd aus. Es kann dieſer das Sporenlager eines epiphyten Pilzes ſein, ſo kommt zunächſt der rein mechaniſche Vorgang der Sporenzerſtreuung in Betracht. Die Sporen werden in der Luft verweht oder verſchleppt durch Thiere und Menſchenhand, ſie fliegen aus und gehen zu Millionen zu Grunde. Sie keimen, wenn ſie das geeignete Subſtrat finden.

Die Infection iſt ſomit zunächſt ein rein mechaniſcher Vorgang, das Entſtehen der Krankheit aber iſt abhängig von der Beſchaffenheit des Wirthes, dem jeweiligen Zuſtand ſeiner angegriffenen Theile, Blatt, Stamm, Blüthe, Aſtwunde u. ſ. f. Hierin liegt ein weſentlicher Zug des Verhältniſſes begründet, welches die Dispoſition für die Krankheit genannt wird. Bei einer epidemiſchen Pilzkrankheit, ſo namentlich bei den Roſtpilzkrankheiten der Nadelhölzer, findet man ganze Beſtände befallen, ſo z. B. die Kiefern der norddeutſchen Ebene, die Weißtanne im Schwarzwald, die Fichte in den Alpen. Mitten in dem Beſtand ſteht unter Hunderten von kranken Bäumen ein geſunder. Ebenſo kommen im roſtkranken Getreidefeld einzelne geſunde neben zahlloſen inficirten Pflanzen vor. Die Dispoſition für die Krankheit hängt jedenfalls von mannigfaltigen Bedingungen in der Nährpflanze, wie in den Paraſiten oder deren Keimen, ſowie von einigen Witterungsbedingungen ab, welche mit aller Beſtimmtheit für einige Krankheitserreger erſchöpfend ſtudirt ſind.

Zu den Krankheitserregern ſind zu rechnen: die Spaltpilze (Bacterien), die Chytridieen, Saprolegnien, ein Theil der Mucorineen, die Uredineen, Uſtilagineen, die Peronoſporeen, ein Theil der Pyronomycetes und Agaricineen.

Wiewohl nun durch eine Reihe ganz ausgezeichneter Unterſuchungen de Bary's, Tulasne's, Reess', Bail's, Löw's, Karsten's, R. Hartig's nachgewieſen iſt, daß aus jeder im ſyſtematiſchen Sinne genau umſchriebenen Gruppe der genannten Pilze ſpecifiſche Krankheitserreger hervorgehen, ſo

muß doch in erſter Linie darauf aufmerkſam gemacht werden, daß in dieſem unermeßlichen Gebiet der Propagation zahlreiche endophyte Pilze ſich in abſterbenden Thier- und Pflanzenleibern einfinden, ohne in Cauſalnexus mit dem endlichen Tod des Wirthes zu ſtehen. Zahlreiche Pyrenomyceten ſiedeln ſich in abſterbenden Baumtheilen oder in friſchen Aſtwunden an, ohne Weſentliches beizutragen zu der Zerſtörung des Wirthes. Selbſt die Wunden, welche an Zweigen krebsartig durch das Wuchern eines Roſtpilzes (Aecidium pini, Podiſoma auf Juniperus z. B. u. a. m.) entſtehen, können gelegentlich durch Pyrenomycetenſporen und deren Mycelien inficirt werden. Es findet eine Succeſſion von verſchiedenen Pilzformen in abſterbenden oder todten Pflanzentheilen ſtatt, ohne daß ein genetiſcher Zuſammenhang unter denſelben zu beſtehen braucht und ohne daß die auftretenden Paraſiten in cauſalem Zuſammenhang mit der urſprünglichen Krankheit zu ſtehen brauchen.

Als eigentlicher Krankheitserreger iſt der verdächtige Pilzgaſt in der gegebenen Nährpflanze doch erſt erwieſen, wenn die Infection durch Impfung auf einer zweifellos geſunden Pflanze der gleichen Art alle Symptome der Erkrankung hervorbringt. Solche Nachweiſe ſind für die verſchiedenen Organe an der Pflanze mit Sicherheit beigebracht, für die Erkrankung der Wurzel der Bäume durch die Agaricineen (Kiefern, Fichten, Lärchen durch Agaricus melleus); für die Wurzel der Erle durch Schinzia alni aus dem Verwandtſchaftskreis der Chytridieen, wo große krebsartige, perennirende Anſchwellungen aus deformirten verholzenden Sproſſungen entſtehen, welche in adventiver Weiſe dem Innern des Rindenkörpers entſpringen.

Für den Stamm der Waldbäume ſind Corroſionen im Holz und in der Rinde durch Infection, welche von der Wurzel auf- oder von der Aſtwunde abſteigend vorſchreiten, bekannt, für die Gattungen Agaricus und Trametes aus der Familie der Agaricineen. Die Mycelien treten in Form der Rhizomorphen oder in Fäden und Platten auf. Zweig- und Blattkrankheiten werden in erſter Linie epidemiſch für die Uredineen, Uſtilagineen, Chytridieen, Peronoſporeen und Pyrenomycetes. Blüthentheile werden von Uſtilagineen, Uredineen und Sphæriaceen befallen.

Die äußeren Symptome, welche durch die mikroſkopiſch kleinen Krankheitserreger zunächſt auffallen, ſind:

1⁰ Verluſt des Turgors bei einigen befallenen Organen. So das Blatt und die Beere des Weines unter dem Einfluß der Eriſyphe. Das Kartoffelblatt unter dem Einfluß der Peronoſpora;

2⁰ Anſchwellung und Verbildung ganzer Organe, welche während des Wachsthums befallen wurden, ſo die Cruciferen unter dem Einfluß von Ciſtopus candidus, der Maiskolben unter dem Einfluß des Uſtilago maidis, das Birnblatt unter dem Einfluß der Podiſomaſporen, die vom Roſt be-

fallenen Blätter von Berberis, die Zweige von Pinus unter dem Einfluß des Aecidium pinitorquum u. v. a.;

3⁰ Verfärbung, Zerſetzung des Chlorophylles in Blättern, welche von den Uredineen, Uſtilagineen, Peronoſporen befallen ſind;

4⁰ vollſtändige Reſorption der befallenen Organe, ſo bei dem Getreide, welches von den Uſtilagineen, Pyrenomyceten befallen iſt;

5⁰ partielle Reſorption und Krebsbildung in der Rinde der Bäume bei manchen Uredineen, Podiſoma juniperi, Aecidium pini;

6⁰ Reſorption der Nährkörper im Zelleninnern des Wirthes, Abtödtung des Protoplasmas, vollſtändige Zerſetzung aller Säfte, raſch fortſchreitende Fäulniß, z. Th. bei den Uredineenkrankheiten, ganz vorherrſchend bei den Peronoſpora-kranken Kartoffelblättern.

Die inneren Symptome, welche zum Theil durch das Mikroſkop erkannt werden, hängen innig mit der Entwickelungsgeſchichte der Paraſiten zuſammen:

1⁰ Die Propagationszelle, welche den Infectionsherd verläßt und den Wirth beſiedelt, iſt eine nackte, geformte, mit Cilien verſehene Plasmamaſſe, ſie ſchwimmt im Waſſer. Die Infection iſt daher an ſich an eine Waſſerbahn, welche den Infectionsherd mit dem neuen Subſtrat verbindet, gebunden, die Schwärmſporen (Ooſpore oder Zooſpore der Saprolegnien, Peronoſporeen, Chytridiaceen) beruhigen ſich auf dem Subſtrat, bilden eine feſte Membran, welche zum Keimſchlauch auswächſt. Dieſer dringt durch die Intercellularräume (Spaltöffnungen) in das Innere des Wirthes und bildet ein Mycelium, welches intracellular oder intercellular den befallenen Pflanzentheil durchwuchert, ſo bei den Chytridiaceen, Peronoſporeen.

2⁰ Die Spore iſt eine ruhende Zelle, welche ausfliegt oder verſchleppt wird, ſie keimt auf der Epidermis, indem das Endoſporium einen Schlauch treibt, welcher durch die Spaltöffnung eindringt, z. B. Aecidium auf dem Getreide, oder ein Loch durch die Exine und Intine der Epidermis bohrt, z. B. die Puccinia und die Uſtilagoſpore auf dem Getreide.

3⁰ Das Mycelium, welches auf der ruhenden Spore entſteht, ſpinnt den Pflanzentheil ein und haftet an der Epidermis nur mit kurzen Saugwarzen (Hauſtorien), welche die Epidermis durchbohren, z. B. die Eriſyphen auf dem Weinblatt, den Blättern des Ahorn, der Erle, des Hopfens und auf zahlreichen krautartigen Gewächſen.

4⁰ Das vegetative Gewebe, Mycelium, durchbohrt mit bis millimeterdicken Strängen (Rhizomorphen) die Baumwurzeln, reſorbirt weite Strecken des Holzkörpers in transverſaler und longitudinaler Richtung, ſendet von den dickeren Rhizomorphenäſten einzellige Mycelfäden aus, welche durch die Zellwand der Holzzelle dringen. Es reſorbirt die Splintlagen im Holz

und der Rinde, indem es fich in tangentialer Richtung zwifchen Holz und Rinde ausbreitet.

5⁰ Die Sporenlager entftehen aus dem vegetativen Körper des Wirthes unter der Epidermis, durchbrechen diefe zur Zeit der Ausfaat, verwunden daher von innen heraus die Oberfläche (Uredineen, Uftilagineen).

6⁰ Die Mycelien verändern die Textur des Holzes. Das Holz wird weiter, wie die directe Berührung des Mycelfadens (Hyphe) reicht, reforbirt. Es behält in dem am weiteften zerfetzten, rothfaulen Eichenholz, abgefehen von den unregelmäßig umfchriebenen Löchern (Corrofionsftellen der Mycelplatten und Fadengewebe), im kleinen Volum feine hiftologifche Befchaffenheit. Das fpecififche Gewicht ift indeß beträchtlich gefunken, die Textur verändert, die Feftigkeit vernichtet, die chemifche Zufammenfetzung verändert, z. B. bei dem kranken Holz der Kiefer, Fichte, Lärche, Eiche unter dem Einfluß der Trametes- und Polyporusarten.

C. Dauer des Infectionsherdes.

Bezüglich der Dauer des Infectionsherdes ift zu beachten, daß alle Organe der Nährpflanze, welche an fich im erften Jahre eingehen, abfallen, abfterben, vertrocknen, felbftredend für den Stock der Pflanze den Infectionsherd befeitigen. Dieß gilt für alle fpecififchen Blattkrankheiten der Laubbäume, der krautartigen Gewächfe. Kommen die Sporen aber zur Entfaltung auf dem in Frage ftehenden Organ, fo bildet das verdorrte und verwefte Organ unter Umftänden den Infectionsherd für die nächfte Vegetationsperiode. Perennirende Mycelien bilden die baumbewohnenden Agaricineen: Trametes, Polyporus, Agaricus u. v. a., welche z. Th. ftetig und periodifch Sporen- (Frucht-) Körper hervorbringen. Dauernde, durch viele Jahre thätige Infectionsherde find die Krebswunden der Wachholder (Podifoma, Gymnofporangium), einige rindenbewohnende Aecidien bei der Kiefer, Weißtanne, der Erlenkrebs (Schinzia alni). Dauernde Mycelien- und Sporenlager finden fich bei den baumbewohnenden Sphæriaceen (Uftulina, Cucurbitaria, Xyloxylon u. a.).

Die Uebermittelung der Krankheit von einem Sommer zum nächften findet fich, von einem und demfelben Infectionsherd der Nadel aus, bei der roftkranken Fichte (Chryfomyxa abietis).

D. Die Generation des Krankheitserregers.

Wir kommen damit zu dem nächften intereffanten Zug in der Krankheitsgefchichte. Die Uebermittelung der Infection von einer Vegetationsperiode zur nächften, von einer Pflanze zur anderen, oder von einem Jahres-

trieb einer gegebenen perennirenden Pflanze (Waldbäume) zum nächften ift abhängig von der Generation der Sporen und deren Anpaffung.

1. Entwickelungszeit unbestimmt.

Bei einigen Agaricineen, welche den Baumkörper bewohnen, dort das Holz mit perennirenden Mycelien allmälig im Laufe der Jahrzehnte zerftören, ift die Zeit der Entwickelung für den Sporenkörper unbeftimmt. Die Infection kann nur an der Wurzel, an einem Rindenriß oder an einer Aftwunde gefchehen. Die Angriffsftelle kann hier unter Umftänden verfchwindend klein fein gegenüber der ganzen Oberfläche des Baumes. Diefe Parafiten befitzen aber zum Theil nicht die Fähigkeit, ihre Sporen erzeugenden Fruchtkörper durch die Borke hinauszutreiben; fie find gewiffermaßen, nachdem fie von der Angriffsftelle aus den Holzkörper langfam durchwucherten, gefangen, bis ihr Mycelium eine bereits vorhandene Wunde in der Rinde trifft. Geeignete Witterungsbedingungen machen nun die Bildung der über die Oberfläche des Wirthes hervorragenden (Frucht-) Sporenkörper möglich. Der Zeitpunkt für den Abfchluß der Entwickelung wird hier alfo im Allgemeinen ganz unbeftimmt fein. Auch brauchen folche Trametes- und Polyporusarten von der erften Anlegung ab bis zur Sporenreife oft mehrere Wochen, felbft Monate.

2. Anpassung an den Wirth.

Das zweite Verhältniß ift diefes: der Pilz ift mit feinen Generationen der Sporenbildung, allgemein der Bildung feiner Propagationszellen, auf eine und diefelbe Nährpflanze (auf ein und dasfelbe Nährthier) angewiefen. Er bildet die verfchiedenen Generationen gleichzeitig oder eine hinter der andern. Dahin gehören die Chytridieen, Saprolegnien, Mucorineen, Uftilagineen, Peronofporeen.

3. Generationswechsel.

Der Krankheitserreger ift mit mehreren in genetifchem Verband ftehenden Sporen und Mycelformen an verfchiedene Nährpflanzen angepaßt. Der Entwickelungscyclus ift durchbrochen, alfo unmöglich, wenn eine der Nährpflanzen in der Nähe des Infectionsherdes fehlt. Diefer Gegenftand kann auch ohne die eingehende Keimungsgefchichte einigermaßen überfchaut werden: wir wählen zu feiner Darlegung die Entwickelung einiger Uredineen und das Mutterkorn.

I. Unter den Roftpilzen ift wohl am weiteften verbreitet der gelbe Nadelroft der Fichte. Die foeben aus der Knofpe austretende Nadel wird befallen von den Sporidien der Chryfomyxa abietis. Der Keimfchlauch dringt durch die Epidermis, bringt die Nadel durch die Bildung eines inter-

cellularen Mycels zum Erkranken. Roftbraune ringförmige Stellen zeigen dieß im laufenden Sommer des erften Jahres an.

Gleichwohl hält fich die Nadel am Zweig über den Winter bis zum zweiten Jahre. Während diefer Zeit bildet das endophyte Mycelium die Sporenlager (Sterigmen) unter der Epidermis. Erft im Mai und Juni des nächften Jahres öffnen fich die Sporenlager durch Zerreißen der Epidermis, die Sterigmen ftrecken fich, gliedern die Sporidia der erften bis zweiten Ordnung ab, welche verftäuben und die junge Nadel des zweiten Jahres befallen. Damit ift der Cyclus umfchrieben, die nächfte Etage der Nadeln und Zweige an dem Baum ift inficirt.

Die Infection erfolgt hier alfo an einer mehrjährigen Nadel im erften, die Sporenausfaat aber erft im zweiten Jahre.

II. Die zweite Gruppe ift durch den Roft (Rœftelia) auf den Birnblättern vertreten. Die von dem Birnblatte abfliegenden Sporen der Rœftelia inficiren die Zweigrinde des Juniperus Sabina. Dort ift das Mycelium perennirend, giebt Veranlaffung zu einer Krebswunde, aus welcher in der feuchten Frühlingsperiode die gelatinöfen Sporenlager einer zweiten Pilzform (Podifoma oder Gymnofporangium) hervorquellen. Aus dem vertrockneten Sporenlager verftäuben die Podifomafporen, keimen aber auf den Blättern der Pomaceen (Pirus, Cratægus u. a. m.), bringen dort die Generation der Rœftelia hervor. Die Krankheitsurfache diefer Obftbäume kann alfo mit dem Juniperus Sabina entfernt werden. Betrachten wir endlich noch denfelben Vorgang für den Getreideroft zufammen, fo können wir den Verlauf der Infectionen von einer gegebenen kranken Getreidepflanze in diefem Schema zufammenftellen:

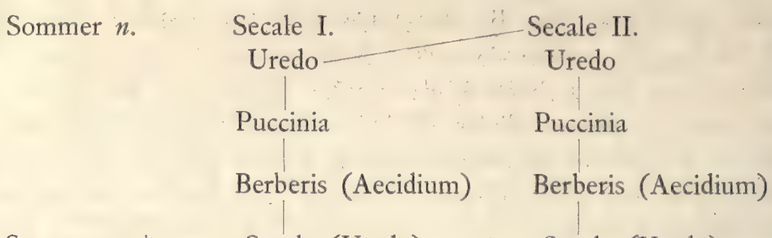
Sommer des Jahres *n*.

Secale I verftäubt Uredofporen (1) von den vegetativen Theilen, Blättern, nach Secale II, III, IV u. f. f.; dort entfteht Uredo (2). Diefer wird verftäubt und kann unter Umftänden auf anderen Nährpflanzen Uredo (3) hervorbringen.

Aus den verlaffenen Uredolagern oder neben den Uredofporen auf demfelben Blatt entfteht die zweite Sporenform Puccinia. Diefe verftäubt noch im laufenden Sommer, geht aber hinüber auf die Blätter von Berberis, wo fie, keimend, aus dem endophyten Mycelium die Sporenform Aecidium hervorbringt.

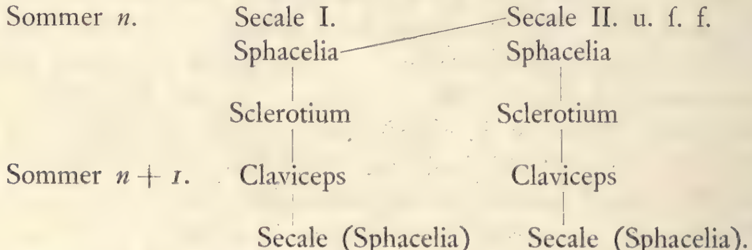
Sommer des Jahres $n + 1$.

Die Aecidiumfporen inficiren nun die neue Generation von Secale in vielen Individuen, das endophyte Mycelium bildet zuerft Uredo, damit fchließt die Entwickelung an den Beginn an:



Die Generation iſt durchbrochen und damit die Epidemie, bezogen auf die Getreidecultur, vernichtet mit der Entfernung der Berberizenſträucher.

Von ähnlichem Intereſſe iſt der Vorgang der Infection bei dem Mutterkorn des Getreides, hier ſind drei Pilzformen bekannt; zunächſt Sphacelia, die Conidienform vom Fruchtknoten der Cerealien (Roggen, Weizen), aber auch auf einigen wilden Gräſern, z. B. Molinia cœrulea. Dieſe Form zerſtört den Fruchtknoten vollſtändig, die ausfliegenden Conidien inficiren aber noch im ſelben Sommer die Umgebung. Wir erhalten alſo:



Jedes verlaſſene Sphacelialager bildet einen mehrere Centimeter großen ruhenden Pilzkörper (Mutterkorn), welcher abfällt (oder wenn geerndtet, von dem Getreide abgeſiebt wird). Derſelbe ruht mehrere Monate, bildet die ſporenerzeugende Generation von Claviceps.

Die Sporen dieſes inficiren die Blüthen (Fruchtknoten) der nächſtjährigen Getreidegeneration.

Mit der Zerſtörung des Sclerotium vor der Keimung iſt die Urſache der Erkrankung vernichtet.

Bei Betrachtung der rein phyſiologiſchen oder chemiſchen Wirkung der Pilzparaſiten wird ſich zeigen, daß man auf das von Nägeli eingehender beſprochene Problem über die Wirkung der Hefezelle raſch zurückkommt.

Zunächſt iſt leicht überſichtlich, daß im Vergleich zu dem rapiden Verlauf der analogen Krankheiten bei dem Thier, in welchem die Organe der Ernährung, der Verdauung und Athmung mehr centraliſirt ſind, der Krankheitsverlauf bei den Pflanzen ein außerordentlich träger iſt. Die von den Saprolegnien befallenen Fliegen erfahren jedenfalls eine raſch tödlich verlaufende Zerſtörung der Verdauungsorgane und des Gefäßſyſtems, viel-

leicht eine Blutvergiftung. Bei den Epidemieen der Bombyx pini und der Seidenraupe ist mit Bestimmtheit die Infection des Blutes mit abgegliederten keimfähigen Conidien nachgewiesen. Ebenso ist bei der Infection mit Milzbrandbacillen die Untermischung des Blutes mit Keimen dieser Bacterie erwiesen. Hier, wie bei der Diphtheritis, handelt es sich jedenfalls um eine Blutvergiftung.

Aber selbst, wenn dieß nicht im chemischen Sinne verstanden werden dürfte, so ist doch mindestens dort die Verbreitung der Erreger von einem gegebenen, vielleicht mikroskopisch kleinen Orte der ersten Infection aus wesentlich erleichtert gegenüber dem gleichen Krankheitsverlauf bei der Hefepflanze.

Der erste Angriff geschieht von einem mikroskopisch kleinen Orte aus. Wie nun auch die Bahn des eindringenden Keimschlauches liegen möge, so ist doch leicht ersichtlich, daß der Vorgang erst dann zur Erkrankung führt, wenn das Mycel mit seinen Zellen den Plasmakörper durchdringt.

Das Anbohren der Cellulosewände ist an sich freilich schon ein auffälliger Eingriff, bei welchem mit Bestimmtheit Cellulose gelöst werden muß.

Die eigentliche Tödtung tritt aber doch erst mit der Wirkung der Keimschläuche auf das Plasma der befallenen Gewebe ein. Der Tod tritt unausbleiblich ein, wennschon die Zelle längere Zeit dem Parasiten widersteht und noch einige Zeit der Translocation obliegen kann.

Welcher Natur der chemische Vorgang ist, kann bis jetzt nicht entschieden werden. Es setzen sich hier der experimentellen Forschung gerade wegen der zahlreichen, aber mikroskopisch kleinen Infectionsherde unübersteigliche Hindernisse entgegen. Die Pilzhyphe wirkt jedenfalls durch Diffusion weit über ihre nächste Umgebung hinaus, die erkrankten und sichtlich in ihrer chemischen Constitution, sowie Textur veränderten Gewebe sind auch zwischen den sichtbaren Hyphen und Mycelplatten in diesem Sinne zerstört. Wennschon über den chemischen Vorgang der Abtödtung der inficirten Zelle nichts bekannt ist, als daß endlich die vollständige Unfähigkeit, Reservekörper zu bilden, zu leiten, und das Absterben und der Zerfall der Zellinhalte eintritt, so sind doch wenigstens die secundären Wirkungen, welche von diesen ersten Eingriffen abhängen, übersichtlich. Auszunehmen freilich sind die Verbildungen, so namentlich das mächtige Anschwellen bei geringem Aufwand von Bildungsmaterial bei einjährigen Theilen, Blättern, saftigen Stengeln (Uredo maidis bewirkt, daß der jugendliche Maiskolben zum Durchmesser von 1½ Fuß anschwillt).

Die in Frage stehenden Gewebe sind häufig durchaus nicht selbst inficirt durch Mycelien oder Keimschläuche. Die secundären Wirkungen, welche als nothwendige Folge überschaut werden können, sind diese: zu-

nächft ift an und für fich klar, daß die reichliche Infection, d. h. das Angehen zahlreicher Sporen, allein die Garantie bietet, daß der Parafit die Phafen der Mycelbildung, der nöthigen Veränderung in dem befallenen Organe, durchläuft, fo daß er wirklich zur Sporenbildung fchreiten kann. Hierbei geht das Organ, alfo ein Syftem von Zellen, zu Grunde, welches das ganze Syftem des Pflanzenkörpers rückwirkend ernährt. So z. B. fällt das Blatt frühzeitiger; ift der Parafit ein fpecififcher Blattbewohner eines Baumes, fo verliert der Baum zwar z. Th. die Erndte an Affimilationsproducten, ift fonft aber nicht gefährdet. Wiederholt fich die Epidemie, fo tritt freilich eine ftetig fich fteigernde Schwächung ein. Die zahllofen blattbewohnenden Erifyphen find kaum bei den Bäumen zu den erften Krankheitserregern zu rechnen, fie gehen gar nicht in das Blatt. Gleichwohl üben fie eine fecundäre Wirkung, indem fie die Affimilation fchwächen. Das Gleiche gilt, wennfchon nicht in demfelben Maß, für lediglich blattbewohnende Uredineen. Eine fecundäre Wirkung fchlimmerer Art ift der Verluft der Kartoffelblätter. Hier wird die Affimilation durch Verluft der Blätter eingeftellt, 2—3 Monate vor dem für die Erndte erforderlichen Ziel. Ganz verderblich endlich wirkt die Erkrankung dann auf das ganze Syftem zurück, wenn, wie bei der Abtödtung der Baumwurzeln durch die Rhizomorphen und durch Zerftörung der leitenden Rindengewebe, die Translocation vollftändig oder zum Theil unterbrochen wird. Die fecundären Wirkungen laffen fich alfo leicht überfchauen, während die Vorgänge der Abtödtung, abgefehen von den mikrofkopifch wahrnehmbaren Veränderungen, in der nächften Nähe der Infectionsftellen, namentlich im chemifchen und phyfikalifchen Sinne, bis jetzt nicht verftanden werden können.



C. F. Winter'fche Buchdruckerei.